

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DE CONSTANTINE 3**

**FACULTE DE GENIE DES PROCEDES
PHARMACEUTIQUES**

**MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MAGISTER EN GENIE DES PROCEDES**

N° D'ORDRE:
SERIE:



PRESENTE PAR :
Bousseghoune Mohamed

Intitulé :

**UTILISATION DE LA MICROFILTRATION POUR
LA PRODUCTION DE L'EAU POTABLE**

Soutenu Devant le jury :

PRESIDENT : Pr. BENCHEIKH LEHOCINE MOSSAAB Université de Constantine

ENCADREUR : Dr. CHIKHI MUSTAPHA Université de Constantine

EXAMINATEUR : Dr. DERBAL KERROUM Ecole polytechnique Nationale

Année universitaire : 2014 / 2015

Sommaire

Résumé	i
Nomenclature	ii
Liste des tableaux	iii
Liste des figures	iv
Introduction générale	1
Chapitre I	
<i>Synthèse bibliographique</i>	
1. 1. Potabilité de l'eau	3
1.1.1. Introduction	3
1.1.2. Définition de l'eau potable	3
1.1.3. Les paramètres de l'eau potable	3
1.1.3.1. Les paramètres organoleptiques	3
1.1.3.2. Les paramètres en relation avec la structure de l'eau	4
1.1.3.3. Les paramètres indésirables	4
1.1.3.4. Les paramètres toxiques	4
1.1.3.5. Les paramètres physico-chimiques	4
1.1.3.5.1. La température	4
1.1.3.5.2. Le pH	4
1.1.3.5.3. La turbidité	5
1.1.3.5.4. La conductivité et la minéralisation	5
1.1.3.5.5. Matières en suspension	5
1.1.3.6. Les paramètres microbiologiques	5
1.1.4. Les normes de qualité de l'eau potable	6
1. 2. Microbiologie de l'eau	7
1.2.1. Introduction	7
1.2.2. But des analyses bactériologiques	7
1.2.3. Les paramètres microbiologiques	7
1.2.3.1. Les bactéries	7
1.2.3.1.1 La structure cellulaire	7
1.2.3.1.2 .Les Etapes de Coloration de Gram	9
1.2.3.1.3. La composition de la cellule bactérienne	10
1.2.3.1.4. Croissance et reproduction	10

1.2.3.1.5. La culture bactérienne	11
1.2.3.1.6. Courbe de croissance	12
1.2.3.1.7. Les caractéristiques	12
A. La morphologie	12
B. Le type respiratoire	13
C. Les types métaboliques	14
C.1. Les bactéries chimio hétérotrophes	14
C.2. Les bactéries chimio autotrophes	14
D. La paroi	15
1.2.3.1.8. Les types des bactéries	15
1. Les streptocoques	15
1.1. Le test biologique (Identification microscopique)	16
1.2. Les maladies liées aux streptocoques	16
2. Les coliformes	17
2.1. Les types des coliformes	17
2.1.1. Coliformes totaux	17
2.1.2. Les coliformes fécaux	17
2.1.3. Escherichia Coli	18
2.2. Les maladies	19
3. Clostridium	19
3.1. Les espèces de Clostridium	20
3.2. Les maladies	20
4. Les germes aérobies	20
5. Salmonella	20
1.2.3.2. Les champignons	21
1.2.3.3. Les Algues	21
1.2.3.4 Les virus	22
1.2.3.5 Les protozoaires	23
Chapitre II	
<i>Généralités sur les procédés membranaires</i>	
2.1. Définition de la membrane	24
2.2. Les techniques séparatives à membranes utilisées dans le traitement des eaux	25
2.2.1. La Microfiltration tangentielle	26
2.2.2. L'ultrafiltration	26

2.2.3. La nanofiltration	27
2.2.4. L'osmose inverse	27
2.3. Types des membranes	28
2.3.1. Selon leur nature	28
2.3.1.1. Les membranes minérales ou céramiques	28
2.3.1.2. Les membranes organiques	28
2.3.2. Selon leur porosité	28
2.3.2.1. Membranes poreuses	28
2.3.2.2. Membranes denses	29
2.3.3. Selon leur fabrication	29
2.3.3.1. Membranes isotropes (ou symétriques)	29
2.3.3.2. Membranes anisotropes (ou asymétriques)	29
2.3.3.3. Membranes composites	30
2.3.3.4. Membranes à charge électrique	30
2.4. Caractéristiques des membranes	31
2.4.1. Seuil de coupure	31
2.4.2. Sélectivité	31
2.4.3. Perméabilité	32
2.5. Définition du Module	32
2.5.1. Types de modules	32
2.5.1.1. Les modules tubulaires	32
2.5.1.2. Les modules à fibres creuses	33
2.5.1.3. Les modules à membrane plans	33
2.5.1.4. Module à membrane spiralée	34
2.6. Principe de mise en œuvre	34
2.6.1. Écoulement frontale	34
2.6.2. Écoulement tangentiel	35
2.7. Phénomènes de transport	36
2.7.1. Polarisation de la concentration	36
2.7.2. Formation de la couche de gel	37
2.7.3. Mécanismes de colmatage	39
2.7.3.1. Dépôt de matière en surface	40
2.7.3.2. Blocage des pores	40
2.7.3.3. Adsorption	40

2.8. Modèles de colmatage	40
2.8.1. Modèle de filtration sur gâteau	41
2.8.2. Modèle de blocage total des pores	41
2.9.3. Modèle de blocage intermédiaire	41
2.9.4. Modèles standard de colmatage des pores	41
2.9. Nettoyage	43
2.9.1. Types de nettoyage	43
2.9.1.1. Nettoyage mécanique	43
2.9.1.2. Nettoyage chimique	43
2.9.1.3. Nettoyage enzymatique	44
2.10. Quelques travaux réalisés concernant la microfiltration des eaux	44
2.10.1. No-Suk Park et al. (2015)	44
2.10.2. Sangho Lee et al. (2008)	45

Chapitre III

Matériel et méthodes

3.1. Introduction	46
3.2. Présentation de la station de Traitement de Ain Tinn	46
3.2.1. Source d'eau brute ou de surface (alimentation)	46
3.2.2. Qualité de l'eau brute	47
3.2.3. Etudes	47
3.2.4. Situation géographique	48
3.2.5. Climat	48
3.2.6. Hydrologie	49
3.2.7. Qualité de l'eau traitée	49
3.2.8. Chaîne de traitement	50
3.2.9. Les procédés de traitement	51
3.2.9.1. Brise charge	51
3.2.9.2. Aération de l'eau brute	52
3.2.9.3. Pré ozonation	52
3.2.9.4. Coagulation –Floculation	53
3.2.9.5. Décantation	53
3.2.9.6. Filtration biologique	54
3.2.9.7. Ozonation	55
3.2.9.8. Filtration par charbon actif	56

3.2.9. 9. Désinfection finale	56
3.2.9.10. Réservoir d'eau traitée	56
3.3. Montage expérimentale de la filtration	57
3.4. Caractéristiques de la membrane	58
3.5. Prélèvements	59
3.6. Paramètre étudiés	60
3.6.1. Paramètres hydrodynamique	60
3.6.1.1. Flux de perméat	60
3.6.1.2. Perméabilité	60
3.6.1.3. Résistance de la membrane	61
3.6.2. Paramètres physicochimiques et Matériel utilisé	61
3.6.3. Paramètres microbiologiques	61
3.6.3.1. Recherche et dénombrement des microorganismes revivifiants à 22 et à 37°C	61
3.6.3.2. Recherche et dénombrement des coliformes, coliforme thermo tolérants et Escherichia Coli en milieu liquide	64
3.6.3.3. Recherche et dénombrement des Streptocoque	67
3.6.3.4. Recherche et dénombrement des spores de bactérie anaérobies sulfito-réductrices Et de clostridium sulfito –réducteurs Méthode par incorporation en gélose en Tubes profondes	69
Chapitre IV	
<i>Résultats et discussions</i>	
4.1. Introduction	71
4.2. Etude Hydrodynamique	71
4.2.1. Modèle des résistances en série	71
4.2.2. Variation du flux de perméat en fonction du temps	72
4.2.3. Variation du flux de perméat en fonction de la pression transmembranaire	75
4.3. Etude physicochimique	79
4.3.1. Détermination des MES	80
4.3.2. Détermination des résidus secs	81
4.3.3. Suivi de la turbidité	83
4.3.4. Taux de Rétention	85
4.4. Etude microbiologique	86
4.4.1. Détermination des germes aérobies revivifiants	86
4.4.2. Détermination des coliformes totaux	87

4.4.3. Détermination des coliformes thermo tolérants (<i>Escherichia coli</i>)	90
4.4.4. Détermination des streptocoques	91
4.4.5. Détermination des clostridium et des bactéries sulfito-réductrices	92
4.4.6. Dénombrements des coliformes thermo tolérants et des germes aérobies revivifiable	93
4.4.6.1. Dénombrements des Coliformes thermo tolérants (<i>Escherichia coli</i>)	93
4.4.6.2. Dénombrements des germes aérobies revivifiable	94
Conclusion générale	96
Références bibliographiques	98
Annexes	100
Conférences et participations	107

Dédicace

Je dédie ce mémoire

A la mémoire de mon père

A ma mère pour leur amour leur patience et leur dépense financier

A mon très cher frère : mohamed Sabil et sa femme Leila et leurs filles Tasnim et Aridj

A ma très chère sœur : Soundousse

A tous ceux qui m'ont encouragé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste projet

Remerciements

Dieu merci pour m'avoir donné la santé, la volonté et le courage sans lesquels ce travail n'aurait pas pu être réalisé.

Le présent travail a été réalisé au niveau du laboratoire de recherche de L'Ingénierie des Procédés de l'Environnement (LIPE).

Je tiens tout d'abord à remercier Mr MENIA A.H le doyen de la faculté de génie des procédés pharmaceutiques de l'université de Constantine 3 pour m'avoir initié à la recherche et pour m'avoir accueilli dans son laboratoire pendant ces années depuis mon Ingéniorat.

J'exprime mes remerciements les plus profondes à mon encadreur Mr CHIKHI Mustapha pour la confiance qu'il m'a témoigné en me proposant ce sujet, comme je lui exprime ma reconnaissance pour avoir dirigé ce travail, pour l'intérêt qu'il a porté à mon travail, ainsi que pour son soutien moral et intellectuel et ses nombreux précieux conseils et sa gentillesse qui m'ont permis de surmonter les difficultés rencontrées au cours de ce mémoire.

J'adresse mes vifs remerciements à Mr BENCHEIKH LEHOCINE Mossaab le président du comité scientifique de la faculté pour l'honneur qu'il m'a fait en président le jury de ma soutenance.

Je tiens également ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements s'adressent à mon enseignant au Magister Mr DERBAL Kerroum Maître de conférence à l'école Nationale polytechnique qui a accepté d'examiner ce travail et de participer au jury.

Je remercie Mme CHIKHI pour sa gentillesse mais aussi pour avoir également participé à la correction de ce manuscrit. ce qui m'as permis aussi d'avoir une autre expérience en matière d'enseignement et pour cela je tiens à lui en témoigner ma profonde reconnaissance.

Je remercie tous les enseignants que j'ai eu l'honneur de collaborer avec eux pendant ces années depuis mon Ingéniorat chacun à sa manière de collaboré.

Je ne pourrai clore ce paragraphe sans remercier ma mère et mon grand frère Mohamed Sabil , Je ne sais comment leurs exprimer ma profonde gratitude, Je leurs dois non seulement ce mémoire mais également toute carrière future, Si je suis ce que je suis c'est grâce à eux , Merci de m'avoir soutenu, encouragé et poussé pendant ces longues années d'études, ce travail vous est dédiés et je suis fier d'être votre enfant.

Résumé

Les dispositifs de traitement de l'eau par membrane étaient autrefois utilisés uniquement dans des projets de dessalement. Mais les améliorations de la technologie des membranes rend leur usage de plus en plus apprécié pour l'élimination des micro-organismes, de particules et de matériaux organiques naturels qui troublent l'eau et en gâchent le goût.

Les membranes sont de fines pellicules d'un matériau capable de séparer les contaminants selon leur taille et leur charge. L'eau traverse une membrane et les particules volumineuses, micro-organismes et autres contaminants y sont arrêtés.

Notre étude porte sur la possibilité d'utiliser la microfiltration dans le processus conventionnel de production d'eau potable ; après avoir passé un stage de deux mois à la station de Ain Tinn (Mila), on a réalisé un montage de microfiltration au Laboratoire de l'Ingénierie des Procédés de l'Environnement (LIPE) de l'université Constantine 3 ; l'eau brute utilisée dans toutes nos expériences est celle de Ain Tinn. Notre travail expérimental est divisé en 3 parties différentes ; la première porte sur la détermination du flux de perméat (filtrât) en fonction du temps et de la pression transmembranaire (PTM), et cela pour l'eau pure et l'eau brute, cette étude a montré que la membrane de microfiltration peut retenir les différentes matières contenues dans l'eau brute, ce qui a été confirmé par la diminution du flux de perméat de l'eau brute par rapport à celui de l'eau pure, cette partie comporte aussi le suivi des résistances de transfert de matière et la perméabilité de la membrane.

La deuxième partie englobe tous les tests physicochimiques réalisés au niveau du laboratoire, à savoir le suivi de la turbidité, les Matières en suspension, les résidus sec etc., et cela pour l'eau brute, eau filtrée et au niveau de l'eau recyclée (concentrât). Ce qui a été remarqué après la filtration, c'est l'élimination presque totale des MES.

La troisième partie concerne les tests bactériologiques de l'eau brute, eau filtrée et eau du recyclage, les résultats montrent qu'il y a une nette élimination des micro-organismes pathogènes tels les coliformes.

Mots clés :

Membrane, microfiltration, eau potable.

Abstract

Devices water treatment membrane were once used only in desalination projects. But improvements in membrane technology makes their use more and more appreciated for the removal of microorganisms, particles and natural organic materials that cloud the water by spoiling the taste.

Membranes are thin films of a material able to separate contaminants according to their size and load. The water passes through a membrane and the larger particles, micro-organisms and other contaminants are stopped.

Our study focuses on the possibility of using microfiltration process in conventional drinking water production; after passing a two-month professional training at the station of AinTinn (Mila), we have made a setting of microfiltration at the Laboratory of Process Engineering Environment (LIPE) University Constantine 3; raw water used in all our experiments is that of AinTinn. Our experimental work is divided into three different parts; The first is about determining the flow of permeate (filtrate) according to time and transmembrane pressure (PTM), and this for the raw water and pure one as well. This study has showed that the microfiltration membrane can retain the different materials contained in raw water, which was confirmed by the decrease in the permeate flow of the raw water comparing to that of pure water, this part also includes the monitoring of resistance of materials transfer and the membrane permeability.

The second part includes all tested physicochemical made in the laboratory, namely the monitoring of turbidity, suspended solids, the dry residue etc., and this is for the raw water, filtered water and water level recycled (concentrate). What has been noticed after the filtration is the almost total elimination of MES.

The third part concerns the bacteriological tested raw water, filtered water and recycling water, the results show that there is a net removal of pathogenic micro-organisms such as coliforms.

Keywords:

Membrane , microfiltration , drinking water.

ملخص

فيما مضى كانت التجهيزات المتخصصة في معالجة المياه التي تستخدم الأغشية تستعمل لتحلية المياه فقط و لكن التحسينات في تكنولوجيا الأغشية جعل استخدامها يزيد يوما بعد يوم للتخلص من الكائنات الدقيقة، والجسيمات والمواد العضوية الطبيعية التي تلوث المياه و تقسد مذاقها

الأغشية هي قشرات رقيقة تكون مكون قادر على فصل الملوثات وفق الحجم و الشحنة الماء يمر عبر الأغشية و لكن لا تسمح بعبور الجزيئات الكبيرة الكائنات المجهرية و الملوثات الأخرى

تركز دراستنا على إمكانية استخدام عملية الترشيح الدقيق في محطة إنتاج المياه القابلة لشرب التقليدية بعد اجتياز فترة تدريب لمدة شهرين في محطة عين التين قمنا بتركيب النموذج التجريبي الذي يضم الأغشية الدقيقة في مخبر هندسة الطرائق للبيئة بجامعة

قسنطينة 3 المياه الخامة تم استعمالها في كل تجاربنا المتحصل عليها من محطة تطهير المياه بعين التين ولاية ميلة

ينقسم عملنا التجريبي إلى ثلاثة أجزاء مختلفة :

الأول يتضمن تحديد تدفق التخلخل بدلالة الزمن و الضغط و هذا باستعمال المياه النقية والمياه الخامة هذه الدراسة تبين أن الأغشية الدقيقة بإمكانها إرجاع المواد المختلفة الموجودة في المياه الخامة و هذا ما أكده الانخفاض في تدفق التخلخل للمياه الخامة بالنسبة للمياه النقية و هذا الجزء يحتوي أيضا على متابعة مقاومات المواد المنتقلة و نفاذة الأغشية

الجزء الثانية يتضمن مجمل الاختبارات الفيزيوكيمياء نية المنفذة في المخبر وذلك فيما يخص متابعة التعكير، المواد الصلبة العالقة، والبقايا الجافة الخ وهذا بالنسبة للمياه الخامة والمياه التي تمت تصفيتها و المياه المعاد تدويرها حيث لوحظ أن بعد الترشيح تم تقريبا

القضاء على كافة المواد الصلبة العالقة

الجزء الثالث يتعلق بالاختبارات البكتريولوجية وهذا بالنسبة للمياه الخامة والمياه التي تمت تصفيتها و المياه المعاد تدويرها و النتائج تبين أن هناك إزالة صافية للكائنات الدقيقة المسببة للأمراض مثل بكتيريا القولون

كلمات البحث:

والمياه القابلة لشرب, الترشيح الدقيق, غشاء

NOMENCLATURE

C : Concentration du soluté

$C(X)$: Concentration du soluté dans la couche limite à la distance X

C_m : Concentration du soluté à la surface de la membrane ($X = 0$)

C_0 : Concentration du soluté dans la solution (eau brute) ($X = \delta$)

C_p : Concentration du soluté dans le perméat

C_g : Concentration du gel (la concentration à la surface de la membrane)

CT : Nombre de coli forme thermo tolèrent

D : Coefficient de diffusivité du soluté

D_{ext} : Diamètre extérieur de la membrane du microfiltre

D_{int} : Diamètre intérieur de la membrane du microfiltre

e : Epaisseur de la membrane du microfiltre

J : Flux du péreméat

J_{lim} : Flux limite

k_{CF} : constante de filtration sur une couche de gâteau

k_{CB} : constante de filtration pour un blocage total des pores

k_{IB} : constante de filtration pour un blocage intermédiaire des pores

k_{SB} : constante de filtration pour un blocage standard des pores

L : Longueur de la membrane du microfiltre

L_p : Perméabilité

MES : Matière En Suspension

N_b : Nombre des germes aérobies

P_{max} : Pression maximale d'opération

ΔP : différence de Pression

PTM : Pression transmembranaire

Q : Débit de perméat

R : Résistances total d'addition

R_m : Resistance hydraulique de la membrane

R_c : Resistance du colmatage

R_g : Résistance du gel

R_s : Résidu sec

R_p : Résistance de polarisation

S : Surface de la membrane

Tu : Turbidité

TR : Taux de rétention

t : Temps de filtration

V : volume de perméat

X : Distance par rapport à la membrane

δ : Épaisseur de la couche limite de polarisation

μ : viscosité de l'eau

ABREVIATIONS

BCPL : Bouillon lactosé au pourpe de bromocrésol

BLBVB : Bouillon lactosé bilié à vert brillant

CMA : Concentration maximal admissible

CR : Concentration de référence

D/C : Double concentration

Litzky : Bouillon à l'azide de l'éthylviolet = bouillon Eva

MF : Microfiltration

NPP : Nombre le Plus Probable

NF : Nanofiltration

OI : Osmose inverse

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PCA: Gélose plat count agar

S/C : Simple concentration

TGEA : Gélose tryptone glucose extrait de levure

UF : Ultrafiltration

VF : Gélose viande fois

Liste des tableaux

Chapitre 1

Tableau 1.1 : Norme de qualité de l'eau potable

Chapitre 2

Tableau 2.1 : Résumé des différentes lois établies

Chapitre 3

Tableau 3.1 : Caractéristiques de la membrane

Liste des figures

Chapitre 1

- Figure 1.1 : la structure cellulaire des bactéries
- Figure 1.2 : Paroi des bactéries (Gram +)
- Figure 1.3 : Paroi des bactéries (Gram -)
- Figure 1.4 : les étapes de colorations de Gram
- Figure 1.5 : Différentes coloration des bactéries
- Figure 1.6 : la croissance bactérienne
- Figure 1.7 : Courbe de croissance bactérienne
- Figure 1.8 : Les différentes formes des bactéries
- Figure 1.10 : Bactéries « GRAM - »
- Figure 1.11 : Bactéries « GRAM + »
- Figure 1.12 : Photo microscopique de streptocoque
- Figure 1.13 : Photo microscopique de coliforme
- Figure 1.14 : Escherichia Coli
- Figure 1.15 : Photo microscopique de Clostridium
- Figure 1.16 : champignons
- Figure 1.17 : Les Algues
- Figure 1.18 : virus
- Figure 1.19 : protozoaire

Chapitre 2

- Figure 2.1 : Schéma du mécanisme de filtration sur membrane
- Figure 2.2 : différents techniques de séparation par procédés membranaires
- Figure 2.3 : Description des différents types de membrane
- Figure 2.4 : modules tubulaires
- Figure 2.5 : Fibres creuses vues Au microscope
- Figure 2.6 : modules à fibres creuses
- Figure 2.7 : Cellule de filtration frontale
- Figure 2.8 : écoulement tangentiel
- Figure 2.9: profil de concentration au voisinage de la membrane dans le cas d'une polarisation primaire

Figure 2.10 : profil de concentration au voisinage de la membrane dans le cas d'un gel

Figure 2.11 : Allure des courbes donnant les variations du flux en fonction de la pression

Figure 2.12 : Schématisation des différents mécanismes de colmatage d'une membrane

Chapitre 3

Figure 3.1 : station de traitement d'Ain Tinn

Figure 3.2 : Situation géographique

Figure 3.3 : Chaîne de traitement

Figure 3.4 : Brise charge, Débitmètre et vanne de régulation

Figure 3.5 : Bassin d'aération

Figure 3.6 : Bassin post pré-ozonation

Figure 3.7 : Coagulation –Floculation

Figure 3.8 : Décanteur à lit de boues pulsées (PULSATOR)

Figure 3.9 : filtre biologique (BIOFOR)

Figure 3.10 : Bassin Post Ozonation

Figure 3.11 : filtre à charbon actif en grain

Figure 3.12 : Réservoir d'eau traitée

Figure 3.13 : Montage de microfiltration

Figure 3.14 : Schéma du montage de microfiltration

Figure 3.15 : membrane de microfiltration

Figure 3.16 : Arborescence de la Recherche des germes aérobies dans l'eau.

Figure 3.17 : Arborescence de la Recherche des coliformes

Figure 3.18 : Arborescence de la Recherche des streptocoques

Figure 3.19 : Arborescence de la Recherche des clostridie sulfito-réductrices

Chapitre 4

Figure 4.1.1 : Variation du flux de perméat en fonction du temps de filtration Pour une

PTM = 0,4 bar $J = f(t)$

Figure 4.1.2 : Variation de la perméabilité en fonction du temps de filtration Pour une PTM =

0,4 bar $L_p = f(t)$

Figure 4.1.3 : Variation des Résistances en fonction du temps de filtration Pour une PTM =

0,4 bar $R = f(t)$

Figure 4.1.4 : Variation du flux de perméat en fonction de la pression transmembranaire

$J = f(\text{PTM})$

Figure 4.1.5 : Variation de la perméabilité en fonction de la pression transmembranaire

$L_p = f(\text{PTM})$

Figure 4.1.6 : Variation des Résistances en fonction de la pression transmembranaire

$R = f(\text{PTM})$

Figure 4.2 .1 : Variation de la couleur en fonction du temps

Figure 4.2.2 : Variation du dépôt et de couleur de Matières En Suspension retenus par la rompe de filtration en fonction du temps de filtration

Figure 4.2. 3 : Variation des MES en fonction du temps de filtration $\text{MES} = f(t)$

Figure 4.2.4 : Variation des dépôts du résidu sec en fonction du temps de filtration

Figure 4.2.5 : Variation du Résidu sec en fonction du temps de filtration $R_s = f(t)$

Figure 4.2.6 : Variation de la turbidité en fonction du temps de filtration $T_u = f(t)$

Figure 4.2.7 : Evolution du Taux de Rétention (TR) pendant une demi-heure

Figure 4.3.1 : Flacons des différentes eaux à analyser

Figure 4.3.2 : Variation d'aspect de gélose PCA après ensemencement Et incubation à 37°C

Figure 4.3. 3 : Variation d'aspect du (BCPL) après incubation à 37 °C De l'eau brute

Figure 4.3.4 : Variation d'aspect du (BCPL) après incubation à 37 °C De l'eau filtrée

Figure 4.3.5 : Variation d'aspect du (BCPL) après incubation à 37 °C De l'eau concentrât (Retentât)

Figure 4.3.6 : Variation d'aspect du bouillon schubert Après repiquage et incubation à 44°C De l'eau brute (alimentation)

Figure 4.3.7 : Variation d'aspect du bouillon schubert après repiquage et incubation à 44°C De l'eau concentrât (Retentât)

Figure 4.3.8 : Variation d'aspect du bouillon (Rothe) après incubation à 37 °C De l'eau concentrât (Retentât)

Figure 4.3.9 : Variation d'aspect de gélose VF après solidification Et incubation à 37°C dans les eaux

Figure 4.3.10 : Variation du nombre des coliformes thermo tolérant (E.COL) dans 100 ml d'eau en fonction du temps de filtration $CT = f(t)$

Figure 4.3.11: Variation du nombre des germes aérobie revivifiable dans 100 ml de l'eau en fonction du temps de filtration $N_b = f(t)$

Introduction générale

Les procédés membranaires font partie des nouvelles avancées technologie qui peuvent jouer un rôle important par rapport à la situation évoqué ci-avant. Ces procédés sont utilisés pour la production d'eau destinée à la consommation humaine ; l'utilisation des techniques membranaires connaît actuellement une croissance rapide, en raison notamment de la multiplication des domaines d'application (pharmaceutique ; agro-alimentaire ; industrie laitière etc.). Ce développement devrait s'amplifier encore, du fait de l'émergence des problèmes liées à la préservation de notre environnement et grâce aux performances énergétiques et technico-économiques de ces nouveaux procédés de séparation classiques (distillation, évaporation et séchage).

La microfiltration (MF) est une opération de séparation par membrane pour laquelle, la force de transfert est un gradient de pression; cette membrane poreuse est de taille moyenne comprise entre 10 et 0,1 μm , elle joue un rôle important dans le traitement des eaux de surface pour enlever la turbidité, les microorganismes pathogènes et la matière organique; dans certains cas, ces membranes sont utilisés également comme prétraitement avant l'osmose inverse lors du dessalement des eaux ou encore dans les bioréacteurs à membrane (BRM) en traitement des eau usées[1].

L'objectif de notre travail est de faire introduire la microfiltration dans la chaîne de traitement pour l'obtention d'une eau potable d'une très bonne qualité, et en minimisant les quantités de coagulant et de chlore ajoutées du fait que la membrane de microfiltration peut capter les MES et les bactéries contenues dans l'eau. Il est à signaler que nous avons passé un stage de 02 mois à la station de production d'eau potable de Ain Tinn (Wilaya de Mila), en suivant toute la chaîne de traitement et les analyses faites au niveau du laboratoire.

Notre travail se divise en quatre chapitres :

- Le premier chapitre comporte des généralités sur les eaux et les traitements pour leurs potabilisation.

- Le deuxième chapitre présente les différentes techniques membranaires, les modes de filtration et le problème de colmatage de la membrane.
- Le troisième chapitre comporte la procédure expérimentale, le montage mis en œuvre pour la réalisation des expériences.
- La quatrième partie est consacrée aux résultats obtenus par les expériences réalisées aux laboratoires de recherche et leurs discussions.

Enfin, notre étude se terminera par une conclusion générale, dans laquelle tous nos résultats seront résumés.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

Chapitre I

Synthèse bibliographique

1.1. Potabilité de l'eau

1.1.1. Introduction

Pour qualifier une eau d'être potable il faut vérifier certains paramètres physiques, chimiques et biologiques d'être comprises dans les normes pour ne pas affecter la santé des êtres vivants.

1.1.2. Définition de l'eau potable

Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque ; les normes fixent les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives pour la santé.

Selon ces normes, une eau potable doit être :

- Exempte de germes pathogènes (bactéries, virus).
- Exempte des produits toxiques (nitrates, phosphates...).
- Exempte des métaux lourds..

Une eau potable doit aussi être :

- Claire.
- Avoir une bonne odeur.
- Un bon goût[2].

1.1.3. Les paramètres de l'eau potable

Lorsque l'eau traitée sort de l'usine, elle doit obéir à un certain nombre de critères de qualité définis par la réglementation surveillée à la fois par les laboratoires des usines de production d'eau et par les laboratoires de contrôle ; ces derniers surveillent également la qualité de l'eau au point de captage et en cours de distribution ; les paramètres faisant l'objet de limites de qualité sont classés en six grandes catégories.

1.1.3.1. Les paramètres organoleptiques

Il s'agit de la saveur, de la couleur, de l'odeur et de la transparence de l'eau. Ils n'ont pas de signification sanitaire mais, par leur dégradation, peuvent indiquer une pollution ou un mauvais fonctionnement des installations de traitement ou de distribution[3].

1.1.3.2. Les paramètres en relation avec la structure de l'eau

Ce sont eux qui font l'identité de base de l'eau. Ils sont essentiellement représentés par les sels minéraux (calcium, sodium, potassium, magnésium, sulfates...) ou par des indicateurs plus globaux comme la conductivité électrique qui permet d'apprécier la concentration de tout les carbonates et les bicarbonates dans l'eau[3].

1.1.3.3. Les paramètres indésirables

Sont dites indésirables certaines substances qui peuvent créer soit un désagrément pour le consommateur :goût(matières organiques, phénols, fer...),odeur(matières organique,phénols...),couleur (fer, manganèse...),soit causer des effets gênants pour la santé(nitrate, fluor).On surveille donc prioritairement la contamination des eaux par des matières organiques (mesurée par l'oxydabilité au permanganate de potassium, la concentration en ammonium, témoin d'une pollution récente d'origine industrielle ou humaine, la présence de nitrites et de nitrate et la concentration en fer[3].

1.1.3.4. Les paramètres toxiques

Une pollution industrielle du captage ou une dégradation des réseaux de distribution peut entraîner la présence d'éléments toxiques dans l'eau, dangereux pour la santé en cas de consommation régulière. Ils sont essentiellement représentés par les métaux lourds (plomb, nickel, mercure, chrome, cadmium, arsenic...) et par le cyanure[3].

1.1.3.5. Les paramètres physico-chimiques

1.1.3.5.1. La température

La température a une grande importance dans l'étude et la surveillance des eaux quelles soient souterraines ou superficielles ; les eaux souterraines gardent généralement une fraîcheur constante, mais la température des eaux de surface varie selon plusieurs facteurs, saisonniers et autres[5].

1.1.3.5.2. Le pH

Le pH ou le potentiel d'hydrogène est le logarithme décimal de l'inverse de sa concentration en ions d'hydrogène $[H_3O^+]$, il est inférieur ou supérieur à sept suivant que l'eau est acide ou basique. Le pH n'a pas de signification hygiénique mais il présente une notion très importante pour la détermination de l'agressivité de l'eau. Pour les eaux naturelles, le pH est compris entre 6 et 8. Le pH est mesuré avec un pH-mètre[5].

1.1.3.5.3. La turbidité

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence, elle donne une idée sur la teneur en matières en suspension. Les eaux troubles chargées de substances finement divisées (grains de silice, matière organique, limons ...), forment parfois d'importants dépôts dans les tuyauteries et dans les réservoirs[5].

1.1.3.5.4. La conductivité et la minéralisation

La mesure de la conductivité permet d'avoir très rapidement une idée sur la concentration de l'eau en sels dissous. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit le plus souvent une salinité élevée, comme elle peut conduire à un entartrage des conduites si l'excès est dû aux ions de calcium[4].

1.1.3.5.5. Matières en suspension

La teneur et la composition minérale et organique des matières en suspension dans les eaux sont très variables selon les cours d'eau ; elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, des travaux, des rejets, etc[5].

1.1.3.6. Les paramètres microbiologiques

L'eau ne doit contenir ni microbes, ni bactéries pathogènes, ni virus qui pourraient entraîner une contamination biologique et être la cause d'une épidémie.

Le dénombrement bactérien consiste à rechercher des bactéries aérobies, c'est à dire se développant en présence d'oxygène. Cette analyse est surtout significative pour l'étude de la protection des nappes phréatiques.

La présence de coliformes fécaux ou de streptocoques fécaux indique une contamination de l'eau par des matières fécales. La présence d'autres coliformes, de clostridium ou de staphylocoques laisse supposer une contamination de ce type. Dans les deux cas ; des mesures doivent être prises pour interdire la consommation de l'eau ou en assurer le traitement[3].

1.1.4. Les normes de qualité de l'eau potable

Certains pays appliquent leurs propres normes. D'autres adoptent celles conseillées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)[4].

Tableau 1.1 : Norme de qualité de l'eau potable

Paramètre	unité	Norme Algérienne		Norme OMS	
		CR	CMA	CR	CMA
pH	-	6.5 / 8.5		7 / 8.5	6.5 / 9.2
Température	°C	20	25	-	-
Conductivité	µS/cm	-	2800	-	-
Résidu sec à 105 °C	mg/l	-	2000	500	1500
Turbidité	NTU	1	2	1	25
Dureté totale (TH)	mg/l	100	500	100	500
Calcium	mg/l	75	200	-	-
Magnésium	mg/l	-	150	-	150
Sodium	mg/l	-	200	-	-
Potassium	mg/l	-	20	-	-
Sulfate	mg/l	200	400	-	250
Chlorure	mg/l	200	500	200	250
Nitrate	mg/l	-	50	-	50
Nitrite	mg/l	-	0,1	-	0,1
Aluminium	mg/l	-	0,2	-	-
Ammonium	mg/l	0,05	0,5	-	1,5
Phosphate	mg/l	-	0,5	-	-
Matières Organiques	mg/l	-	3	-	-
Métaux lourds	mg/l	0,05	0,3	0,05	
Fer	mg/l	-	0,3	0,1	3
Manganèse	mg/l	-	0,5	0,05	0,1
Coliformes totaux	N 1ml	< 10		< 10	
E-Coli	N 1ml	< 10		< 10	

1.2. Microbiologie de l'eau

1.2.1. Introduction

Une eau pour pouvoir être consommée sans danger doit répondre à un certain nombre de critères stricts, appelés critères de potabilité chimiques et bactériologiques.

La potabilité microbiologique, est l'absence de micro-organismes susceptibles de provoquer des maladies, parfois on peut trouver les micro-organismes nocifs pour la santé dans l'eau.

Cependant, comme l'eau potable est aujourd'hui désinfectée minutieusement, les maladies provoquées par ce type de micro-organismes sont rarement la conséquence de la consommation d'eau potable.

En effet les micro-organismes pénètrent facilement dans ces eaux par l'intermédiaire des excréments d'animaux ou des rejets industriels.

Plusieurs bactéries et protozoaires sont nocifs pour nous lorsqu'ils sont présents dans les eaux de surfaces.

1.2.2. But des analyses bactériologiques

L'objectif de l'analyse bactériologique d'une eau n'est pas d'effectuer un inventaire de toutes les espèces présentes, mais de rechercher soit celles qui sont susceptibles d'être pathogènes, soit ce qui est souvent plus aisé, celles qui les accompagnent et qui sont en plus grand nombre, en particulier dans l'intestin de l'homme et sont par leur présence indicatrices d'une contamination fécale, donc des maladies associées au péril fécal[6].

1.2.3. Les paramètres microbiologiques

1.2.3.1. Les bactéries

Elles sont classées parmi les procaryotes, organismes unicellulaires, entourés d'une membrane plasmique de petites tailles (de 1 à 10µm). Elles vivent isolées, soit rassemblées par 2 ou en colonies.

1.2.3.1.1. La structure cellulaire

En tant que procaryote (organisme sans noyau), les bactéries sont des cellules relativement simples, caractérisées par une absence de noyau et d'organites comme les mitochondries et les chloroplastes, elles n'ont pas non plus de réticulum endoplasmique ou d'appareil de golgi[7].

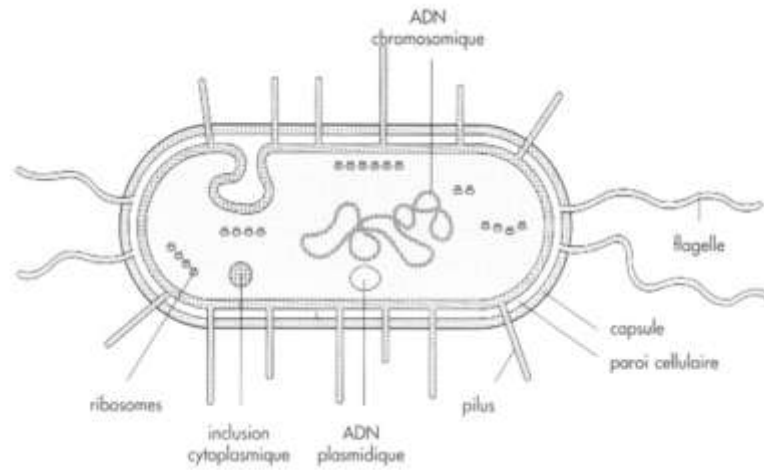


Figure 1.1 : la structure cellulaire des bactéries

Une caractéristique importante des bactéries est la paroi cellulaire, les bactéries peuvent être divisées en deux groupes (gram négatif ou gram positif).

Les bactéries à coloration de Gram positif possèdent une paroi cellulaire contenant un peptidoglycane (ou muréine) épais et des acides teichoïques alors que les bactéries à coloration de Gram négatif présentent un peptidoglycane fin localisé dans le périplasmique entre la membrane cytoplasmique et une membrane cellulaire externe. La paroi donne à la bactérie sa forme et la protège contre l'éclatement sous l'effet de la très forte pression osmotique du cytoplasme. Le peptidoglycane assure la rigidité de la paroi, il existe toute fois des bactéries sans paroi : ce sont les mycoplasmes[9].

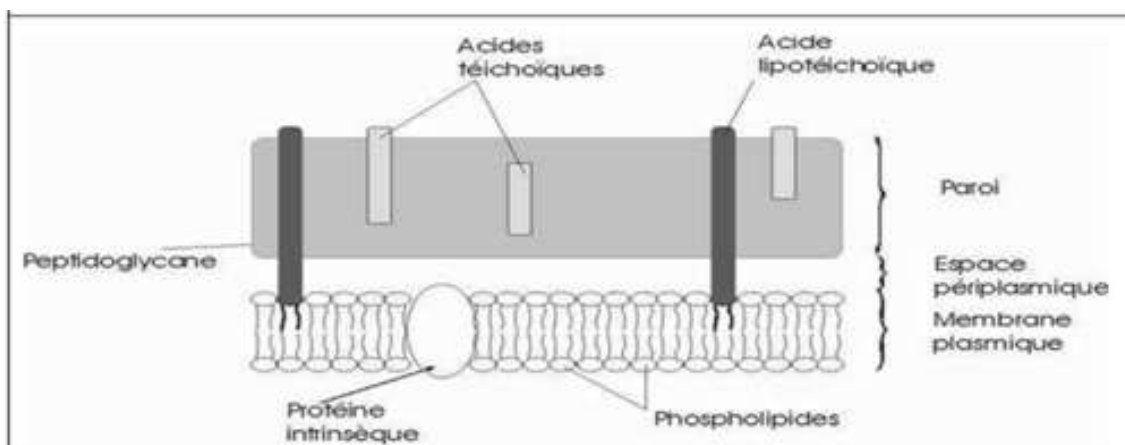


Figure 1.2: Paroi des bactéries (Gram +)

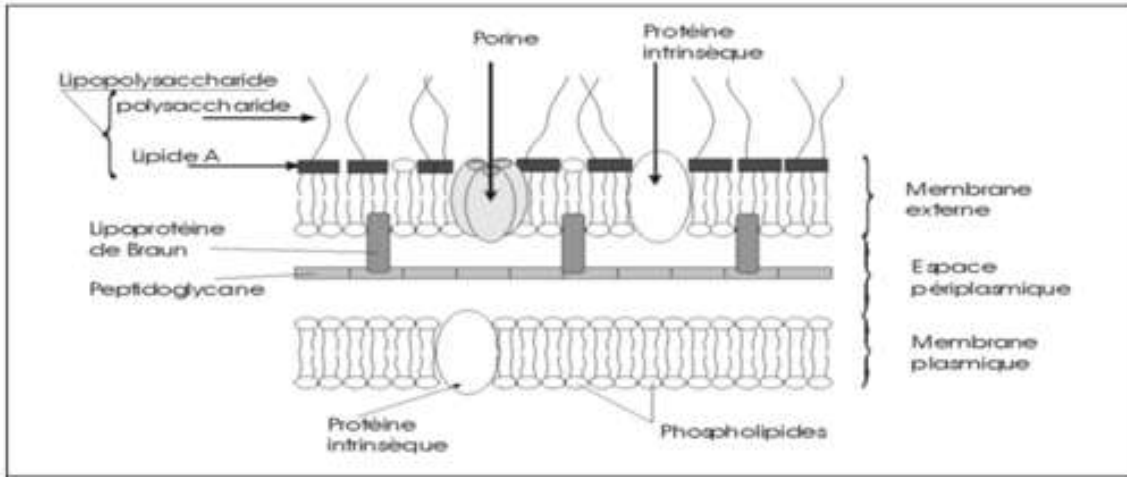


Figure 1.3 : Paroi des bactéries (Gram -)

1.2 .3.1.2. Les Etapes de Coloration de Gram

- fixation des bactéries sur une lame microscopique,
- un premier colorant : le "violet de gentiane".
- mordantage au lugol. A ce stade, toutes les bactéries sont violettes.
- lavage à l'alcool qui décolore les seules bactéries à paroi fine.
- surcoloration à la fuchsine (rouge) qui recolore les bactéries décolorées.

Après coloration de Gram, les bactéries à paroi épaisses sont colorées en violet : et dites "à Gram positif", les bactéries à paroi fine sont colorées en rouge et dites "à Gram négatif".

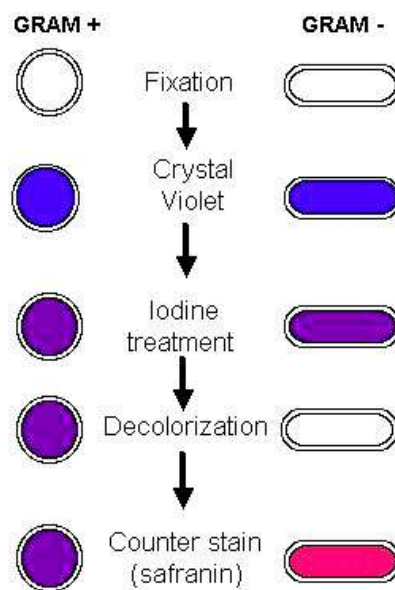


Figure 1.4 : les étapes de colorations de Gram

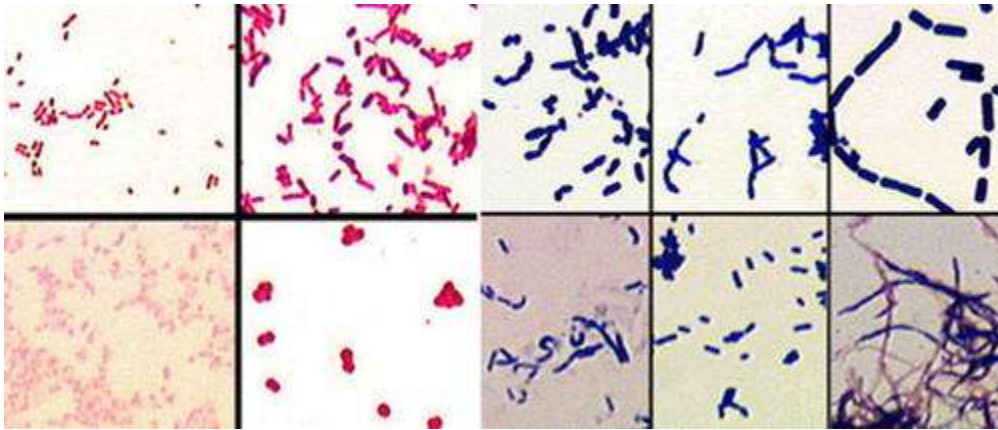


Figure 1.5 : Différentes coloration des bactéries

1.2.3.1.3. La composition de la cellule bactérienne

Le principal composant est l'eau, elle représente environ 80% du poids de la bactérie. L'analyse sur un poids sec donne les résultats suivants :

Carbone 50% ; Azote 15% ; Hydrogène 10% ; Oxygène 20% ; Phosphore 3% ; Soufre ; Mg^{++} , Mn^{++} , Zn^{++} , Cr , Na^+ , K^+ ... etc[8] .

1.2.3.1.4. Croissance et reproduction

Deux cellules identiques sont produites à partir d'une cellule mère. La croissance cellulaire se manifeste par un accroissement du volume cellulaire, suivi de la synthèse d'un septum transversal au milieu de la cellule, aboutissant à la séparation des deux cellules filles.

La division bactérienne est précédée par la duplication du chromosome bactérien grâce à la réplication de l'ADN.

Quand elles se trouvent dans un milieu propice les bactéries peuvent se multiplier à une allure vertigineuse.

Une population de bactérie peut doubler toutes les 20 minutes en fonction de : la disponibilité en nutriments, la présence de bactéries concurrentes, la présence de prédateurs (par exemple des paramécies), la présence de bactériophages, la présence d'antibiotiques (inhibant par exemple la synthèse de la paroi bactérienne, entraînant donc leur mort) produits par des champignons ou des actinomycètes (bactéries filamenteuses)[9].

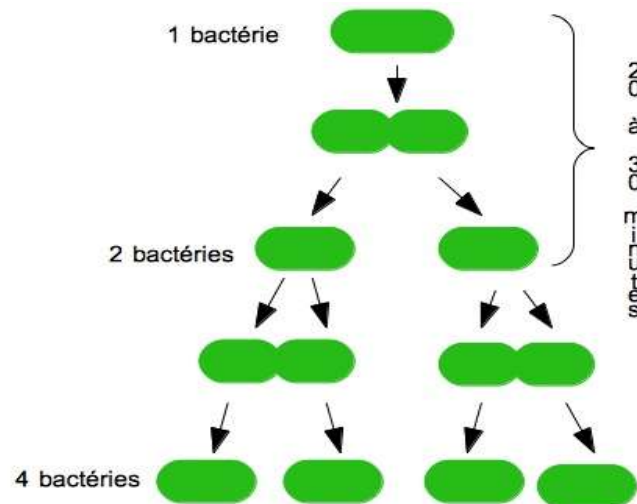


Figure 1.6 : la croissance bactérienne

1.2.3.1.5. La culture bactérienne

Au laboratoire, les bactéries peuvent être cultivées en milieu de culture liquide ou en milieu solide. Le milieu de culture doit apporter les éléments nutritifs ou nutriments élémentaires à la bactérie. Les milieux de culture gélosés solides sont utilisés pour isoler des cultures pures de cellules bactériennes.

Dans le cas des bactéries se divisant rapidement, une cellule bactérienne dispersée sur un milieu gélosé va se multiplier et, au bout de 24 à 48 heures, devenir un amas de bactéries, appelé une colonie bactérienne, visible à l'œil nu.

Le temps de génération est le temps nécessaire à une bactérie pour se diviser, il correspond donc au temps nécessaire pour qu'une population de cellules double en nombre. Ce temps est très variable selon les espèces de bactéries et les conditions environnementales.

Au laboratoire, dans des conditions idéales, il est par exemple de 20 minutes pour *Escherichia coli*, 100 minutes pour *Lactobacilles acidophilus* et 1 000 minutes pour *Mycobacterium tuberculosis*[8].

1.2.3.1.6. Courbe de croissance

La croissance d'une bactérie s'étudie en milieu liquide. Il existe 4 phases dont l'ensemble constitue la courbe de croissance[9].

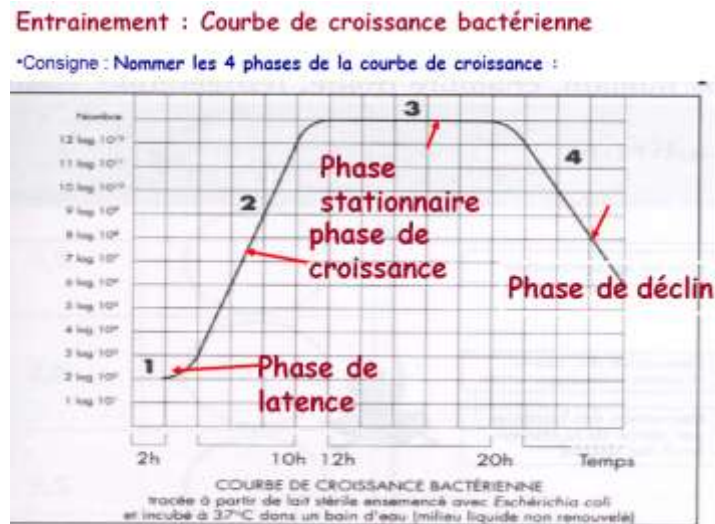


Figure 1.7 : Courbe de croissance bactérienne

Interprétation de la courbe de croissance bactérienne

- Phase de latence : Adaptation des bactéries au milieu.
- Phase de croissance : Croissance intense avec un taux de croissance maximal et constant.
- Phase stationnaire : Arrêt de la croissance car la présence des déchets toxiques et épuisement du milieu nutritif.
- Phase de déclin : Nombre de bactéries mortes est de plus en plus important.

1.2.3.1.7. Les caractéristiques

Les bactéries constituent un ensemble d'une grande variété, elles peuvent être différenciées par certaines de leurs caractéristiques :

A. La morphologie

Les bactéries présentent une grande diversité de tailles et de formes. Les cellules bactériennes typiques ont une taille comprise entre 0,5 et 5 µm de longueur, cependant, quelques espèces comme *Thiomargarita namibiensis* et *Epulopiscium fishelsoni* peuvent mesurer jusqu'à 500 µm (0,5 mm) de longueur et être visibles à l'œil nu[8] [9] .

La plupart des bactéries sont soit sphériques, appelées coques (*pl. cocci*, du grec *kókkos*, grain), ou soit en forme de bâtonnets, appelés bacilles (*pl. bacilli*, du Latin *baculus*, bâton). Il existe aussi des formes intermédiaires : les coccobacilles. Quelques bactéries en forme de bâtonnets sont légèrement incurvées comme les *Vibrions*. D'autres bactéries sont hélicoïdales. Ce sont des spirilles si la forme est invariable et rigide, des spirochètes si l'organisme est flexible et peut changer de forme. La grande diversité de formes est déterminée par la paroi cellulaire et le cytosquelette. Les différentes formes de bactéries peuvent influencer leur capacité d'acquérir des nutriments, de s'attacher aux surfaces, de nager dans un liquide et d'échapper à la prédation.

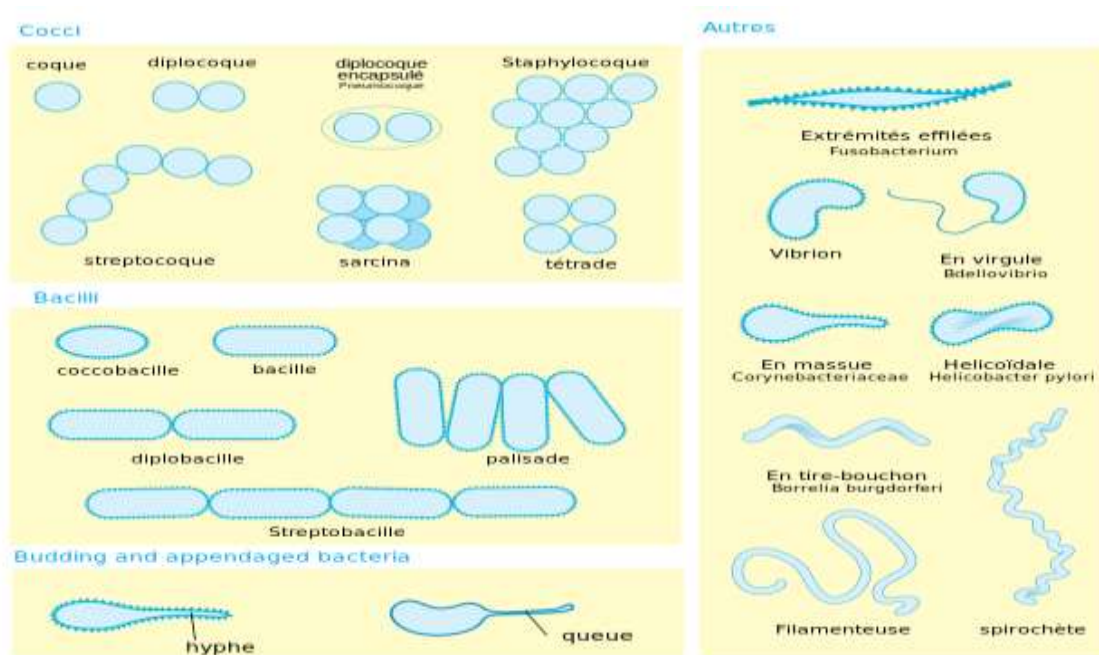


Figure 1.8 : Les différentes formes des bactéries

B. Le type respiratoire

Selon leur mode de vie, les bactéries peuvent être classées en différents groupes :

- **Les aérobies strictes** : peuvent vivre uniquement en présence de dioxygène ou oxygène moléculaire (O_2). (Figure : 1.9 B)
- **Les aéro-anaérobies facultatifs** : peuvent vivre en présence ou en absence de dioxygène. (Figure 1.9 A)
- **Les anaérobies** : ne peuvent vivre qu'en absence de dioxygène. Les aéro-tolérants sont des organismes anaérobies qui peuvent tout de même survivre en présence d'oxygène. (Figure 1.9 D)

- **les microaérophiles** : requièrent de l'oxygène pour survivre mais à une concentration faible.
(Figure 1.9 C)

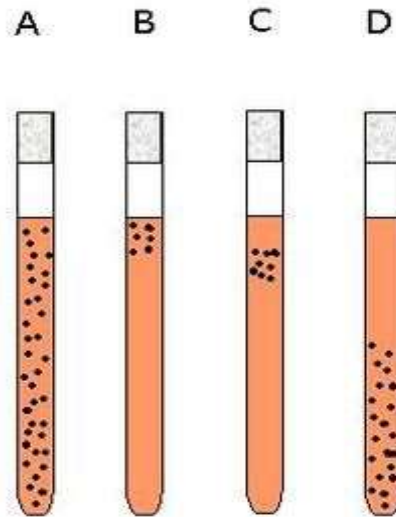


Figure 1.9 : Les différents types respiratoires des bactéries.

C. Les types métaboliques

Les bactéries peuvent être classées selon deux types de métabolisme :

- Les chimio hétérotrophes ou **hétérotrophes**.
- Les chimiolithotrophes ou **autotrophes**.

C.1. Les bactéries chimio hétérotrophes

Elles vont modifier divers substrats et ne pourront subvenir à leurs besoins énergétiques qu'en présence de composés organiques.

C.2. Les bactéries chimio autotrophes

Elles utilisent pour vivre et comme source d'énergie, l'oxydation d'un composé minéral. Comme source de C, certaines vont se contenter de CO_2 et donc pouvoir se développer sur un milieu minéral[8].

D. La paroi

C'est l'enveloppe externe qui a un rôle de protection très résistante.

Il y a deux grands types de parois qui diffèrent par leurs caractéristiques microchimiques, c'est une coloration de GRAM qui permet de les distinguer en :

* Bactéries « **GRAM -** » : paroi plus fine (Figure 1.10)

* Bactéries « **GRAM +** » : paroi épaisse (Figure 1.11)



Figure 1.10 : Bactéries « GRAM - »

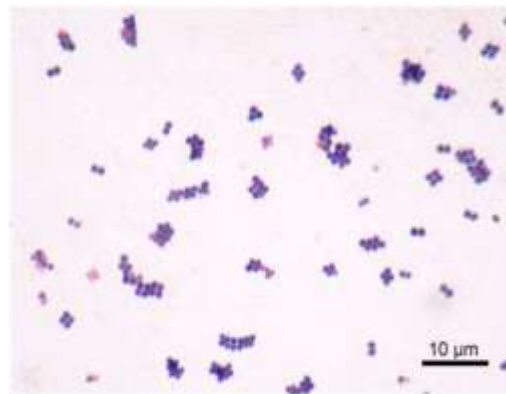


Figure 1.11: Bactéries « GRAM + »

1.2.3.1.8. Les types des bactéries

1. Les streptocoques

Les streptocoques sont des bactéries de forme arrondie, disposées en chaînette, et qualifiées de gram positif. Les variétés les plus souvent retrouvées chez l'homme sont le streptocoque pneumoniae (ou pneumocoque), et l'entérocoque.

Certains streptocoques font partie de la flore normale d'un individu c'est-à-dire de l'ensemble des bactéries qui vivent habituellement à l'intérieur ou sur le corps humain. En effet, les streptocoques colonisent habituellement et normalement les poumons, le tube digestif, l'appareil urinaire et génital.

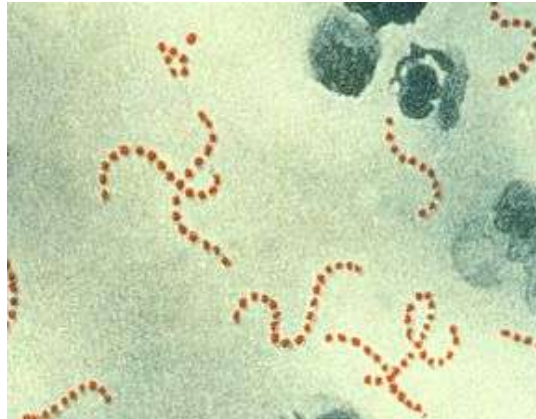


Figure 1.12 : Photo microscopique de streptocoque

1.1. Le test biologique (Identification microscopique)

Les différentes espèces de streptocoques peuvent être classées et identifiées d'après les 3 types de caractères suivants :

- **La morphologie** : et le groupement des cocci, la présence d'une capsule et l'aspect des colonies.
- **Le type d'hémolyse** : produite sur gélose au sang: β -hémolyse, α -hémolyse ou absence d'hémolyse.
- **La présence ou non d'un antigène** : lié à un polysaccharide de paroi et spécifique de groupe.

1.2. Les maladies liées aux streptocoques

Parmi les streptocoques, les espèces commensales appartiennent à la flore normale des muqueuses de l'homme. Ce sont les streptocoques oraux et les streptocoques du groupe D. Dans certaines circonstances ces bactéries commensales deviennent pathogènes opportunistes et peuvent être responsables d'infections, notamment de septicémies ou d'endocardites.

Les streptocoques pathogènes responsables d'infections aiguës sont : *S. pyogenes*, *S. agalactiae*, *S. pneumoniae*. Lorsque ces bactéries pathogènes sont présentes transitoirement et en faible quantité sur les muqueuses ou les téguments, on parle de "portage" et de porteurs sains.

Les infections les plus connus du public, liées aux streptocoques, sont :

-*La pharyngite* : qui est le résultat d'une infection par un streptocoque A ou streptocoque pyogène[8].

2. Les coliformes

Les coliformes sont des Bacilles à Gram Négatif, appartiennent à la famille des Entérobactéries, ce sont :

- des aéro - anaérobies facultatifs
- Non sporulés.
- Ne possédant pas d'oxydase.
- Capables de se multiplier en présence de sels biliaires.
- Capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 24 à 48 heures à une température comprise entre 36 et 37°C.



Figure 1.13 : photo microscopique de coliforme.

2.1. Les types des coliformes

2.1.1. Coliformes totaux

Les coliformes existent dans les matières fécales mais peuvent également se développer dans certains milieux naturels (sol, végétation). L'absence de coliformes totaux ne signifie pas nécessairement que l'eau ne présente pas de risque pathogène. Dans un laboratoire Le dénombrement se fait par ensemencement en milieu liquide ou par filtration sur membrane concerne un volume de 250 ml.

2.1.2. Les coliformes fécaux

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermo tolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44,5 °C. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est l'*Escherichia coli* (*E. coli*) et, dans une moindre mesure, certaines espèces des genres *Citrobacter*, *Enterobacter* et *Klebsiella*[10][11] .

La bactérie *E. coli* représente toutefois 80 à 90 % des coliformes thermo tolérants détectés.

2.1.3. Escherichia Coli

Coliformes Thermo Tolérants, qui produisent en outre, de l'indole à partir du tryptophane présent dans le milieu à $44 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Comme il est membre de la famille des Enterobacteriaceae, on le trouve naturellement dans les intestins des êtres humains et des animaux à sang chaud.

Dans les matières fécales humaines et animales, la concentration d'Escherichia Coli s'établit à environ 10⁹ par gramme, ce qui représente environ 1 % de la biomasse Totale du gros intestin.

E. coli est en général, le plus sensible des coliformes aux agresseurs environnementaux.

Sa survie dans l'environnement dépend de nombreux facteurs, y compris :

- La température,
- L'exposition aux rayons du soleil,
- La présence d'autres microflores,
- Le type d'eau (eau de surface, eau souterraine ou eau traitée de réseaux de distribution).

Escherichia Coli est considéré comme un indicateur de salubrité microbiologique.

E. Coli sont en général considérés comme de bons indices de contamination fécale, leur présence est constante dans les excréments humains.

Dans les eaux, ils sont considérés comme un peu fragiles et disparaissent en général avant les pathogènes qui les accompagnent.

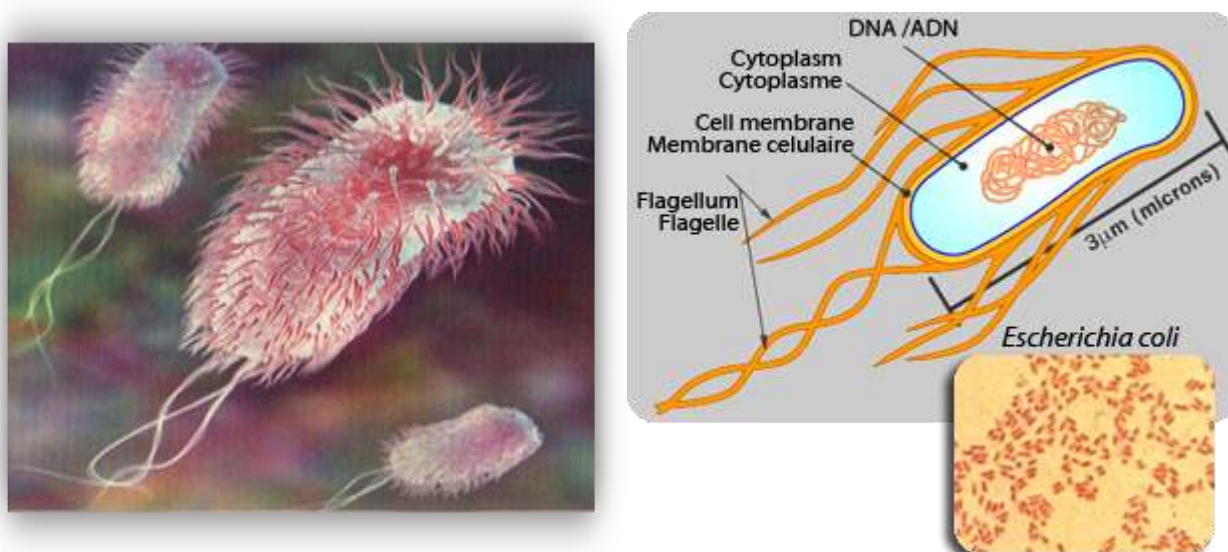


Figure 1.14 : Escherichia Coli

2.2. Les maladies

Quelques maladies peuvent être provoquées par E.COLI comme les infections urinaires, les méningites néonatales et autres maladies intestinales[8].

➤ Remarque

Bien que la présence de coliformes fécaux est un témoin d'une contamination d'origine fécale, plusieurs coliformes fécaux ne sont pas d'origine fécale, provenant plutôt d'eaux enrichies en matière organique, tels les effluents industriels du secteur des pâtes et papiers ou de la transformation alimentaire.

Par ailleurs, puisque les coliformes fécaux ne prolifèrent habituellement pas dans un Réseau de distribution, ils sont utiles pour vérifier son étanchéité, permettant de détecter une contamination fécale découlant par exemple d'infiltrations d'eau polluée dans les canalisations.

Ils sont aussi de bons indicateurs de l'efficacité du traitement de l'eau, mais comme leur nombre est moins élevé que celui des coliformes totaux, ces derniers leur sont préférables pour cette fonction.

3. Clostridium

Le genre *Clostridium* est un genre bactérien regroupant des bacilles gram positifs anaérobies souvent sporulés, anaérobies strict pour la plupart, mobiles en général par l'intermédiaire de *flagelles* péritriches.

Phylogénie : *Clostridium* appartient à la famille des *Clostridiaceae*, Ordre des Clostridiales, Classe des Clostridia, Phylum des Firmicutes.

Ils sont presque tous mobiles ; leurs spores, plus larges que le corps bacillaire sont généralement subterminales ou terminales. Ils ne possèdent ni cytochrome, ni peroxydase, ni catalase.

Le genre *Clostridium* comporte de nombreuses espèces dont certaines hautement pathogènes pour l'homme.



Figure 1.15 : Photo microscopique de Clostridium

3.1. Les espèces de Clostridium

- Clostridium tetani : l'agent du tétanos
- Clostridium botulinum : l'agent du botulisme
- Clostridium perfringens : dans des intoxications alimentaires.
- Clostridium difficile : qui peut être responsable de la colite pseudomembraneuse
- Beaucoup d'espèces sont présentes dans le sol qui est leur habitat naturel (Clostridium sporogenes, Clostridium butyricum...).

3.2. Les maladies

Les 4 principales de ces maladies sont le botulisme, le tétanos, la gangrène gazeuse et l'entérotoxémie[8].

4. Les germes aérobies

La recherche des micro-organismes aérobies non pathogènes dits "revivifiables" permet de dénombrer les bactéries se développant dans des conditions habituelles de culture et représentant la teneur moyenne en bactéries d'une ressource naturelle.

Ces germes n'ont pas d'effets directs sur la santé mais sous certaines conditions, ils peuvent générer des problèmes. Ce sont des indicateurs qui révèlent la présence possible d'une contamination bactériologique.

La méthode de référence pour l'analyse consiste en un dénombrement du nombre de germes par ml d'eau selon :

- Germes totaux à 22°C = comptage des colonies obtenues après incubation à 22°C durant 72 heures,
- Germes totaux à 37°C = comptage des colonies obtenues après incubation à 37°C durant 48 heures.

Ces valeurs devraient normalement ne pas dépasser respectivement 20 par ml à 22°C en 72 heures et 6 par ml à 36°C en 48 heures, étant entendu que ces valeurs doivent être considérées comme des nombres guides et non comme des concentrations maximales[8].

5. Salmonella

Salmonella est un bacille à Gram négative appartenant à la famille des Enterobacteriaceae. Chez l'homme les Salmonella sont responsables de deux types de pathologie: Fièvre typhoïde, gastro-entérites aiguës.

Les Salmonella sont des parasites du tube digestif de l'homme et des animaux.

Les salmonella résistent plusieurs semaines dans l'eau et plusieurs mois voir des années dans la terre[8].

1.2.3.2. Les champignons

Les champignons vivant dans les zones humides sont très nombreux mais les champignons strictement aquatiques sont rares et essentiellement connus dans les eaux douces où ils contribuent notamment à dégrader le bois-mort immergé et les feuilles mortes, servant également de nourriture à de nombreux invertébrés qui les consomment. On peut aussi les trouver dans les creux de bois morts qui ont accumulé de l'eau.

Les champignons sont pour la plupart aérobies, c'est-à-dire qu'ils ont des besoins en oxygène peu compatibles avec la vie sous l'eau étant donné leur absence d'organe respiratoire adapté. Il en existe des espèces marines



Figure 1.16: Les champignons

1.2.3.3. Les Algues

Les algues sont des êtres vivants capables de photosynthèse dont le cycle de vie se déroule généralement en milieu aquatique. Elles constituent une part très importante de la biodiversité et la base principale des chaînes alimentaires des eaux douces, saumâtres et marines. Diverses espèces sont utilisées pour l'alimentation humaine, l'agriculture ou l'industrie.

Les algues ne constituent pas un groupe évolutif unique, mais désignent toute une série d'organismes pouvant appartenir à des groupes phylogénétiques très différents[12][13].

La morphologie : est donc très diversifiée : il existe des algues qui sont unicellulaires, d'autres forment des filaments cellulaires, d'autres développent des architectures complexes et différenciées, par apposition cellulaire ou par enchevêtrement de filaments tubulaires.

Les algues ne possèdent cependant pas de tissus nettement individualisés. Les couleurs des algues peuvent être très variées : verte, jaune, rouge, brune.



Figure 1.17 : Les Algues

1.2.3.4. Les virus

Un virus est une entité biologique qui nécessite une cellule hôte, dont il utilise les constituants pour se multiplier. On le considère de plus en plus comme faisant partie des acaryotes[14].

Les virus ne peuvent se multiplier qu'au sein de cellules vivantes, par réplication de leur acide nucléique. C'est l'interaction du génome viral et de la cellule hôte qui aboutit à la production de nouvelles particules virales. L'infection d'une cellule par un virus, puis la multiplication du virus peuvent se résumer en différentes étapes. Toutefois, après pénétration du virus dans la cellule, ces étapes peuvent différer selon la nature du virus en question et notamment selon qu'il s'agit d'un virus à ADN ou d'un virus à ARN[14].

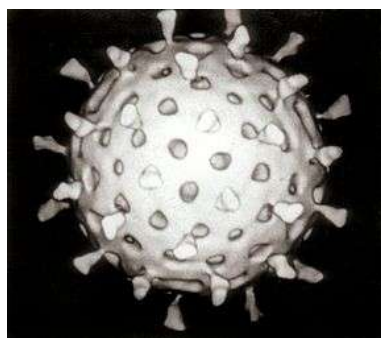


Figure 1.18 : virus

1.2.3.5. Les protozoaires

En biologie, le terme protozoaire (*Protozoa*, du grec ancien proto- (« premier ») et du suffixe -zoa (« animal »)) désigne les protistes (eucaryotes unicellulaires) hétérotrophes qui ingèrent leur nourriture par phagocytose, contrairement aux deux autres types de protistes.

Les Protozoaires étant souvent unicellulaires, ce sont toujours de petits organismes, approchant le **millimètre** pour les plus gros, mais pouvant s'associer en colonies, formant alors presque des superorganismes

Ils vivent exclusivement dans l'eau ou dans les sols humides ou à l'intérieur d'un organisme (dans le mucus pulmonaire, l'intestin, la panse de certains animaux...).

Ils sont connus pour être responsables de nombreuses maladies telles que la malaria et certaines dysenteries, telle l'amibiase[14].

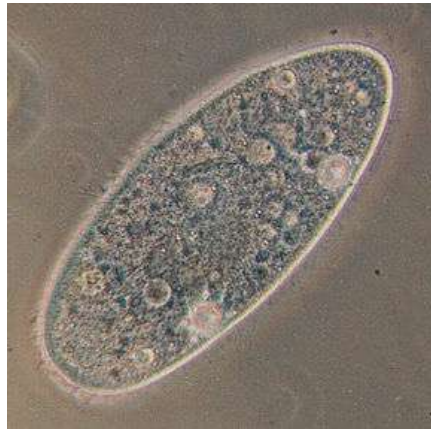


Figure 1.19 : protozoaire

Chapitre II

Généralités sur les procédés membranaires

Chapitre II

Généralités sur les procédés membranaires

2.1. Définition de la membrane

De façon générale, une membrane peut être définie comme étant une barrière de très faible épaisseur permettant l'arrêt ou le passage sélectif des composés de taille inférieure au diamètre de ses pores, dissous ou non, sous l'action d'une force motrice.

La nature de la force motrice mise en jeu. Celle-ci peut être :

- un gradient de pression ΔP
- un gradient de concentration ΔC
- un gradient de potentiel électrique ΔE
- un gradient de température ΔT

Elle permet le passage (transfert) ou la rétention de certains composants entre les deux milieux qu'elle sépare (Fig. 2.1).

La phase retenue constitue alors le rétentat (ou concentrât) alors que la phase ayant traversé la membrane s'appelle le perméat (ou filtrat).

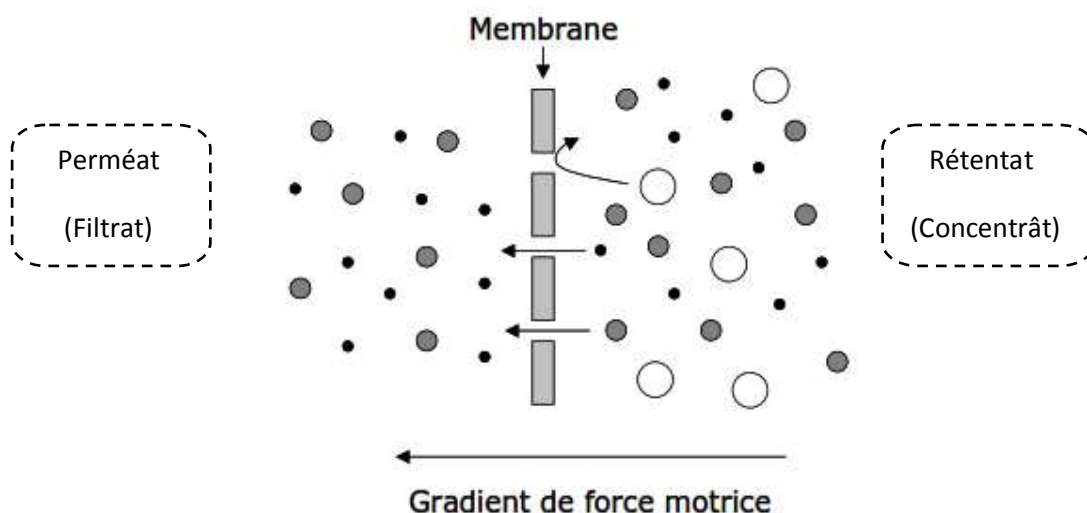


Figure 2.1 : Schéma du mécanisme de filtration sur membrane

Le pouvoir de séparation d'une membrane dépend de sa structure poreuse, de la nature du matériau membranaire et des conditions opératoires.

2.2. Les techniques séparatives à membranes utilisées dans le traitement des eaux

En fonction de la taille des pores de la membrane mise en oeuvre, on distingue quatre procédés membranaires : la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nanofiltration (NF) et l'osmose inverse (OI) (figure 2.2). A noter que dans le cadre de la production d'eau potable à partir d'une eau de surface, ce sont principalement les membranes de microfiltration qui ont été choisies pour réaliser l'étape de clarification [15].

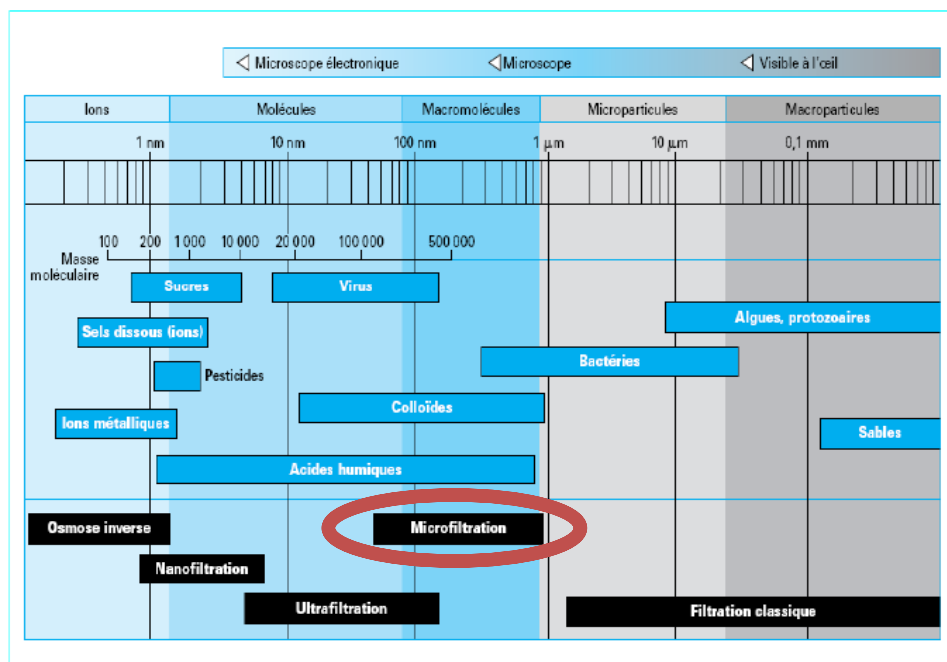


Figure 2.2 : différents techniques de séparation par procédés membranaires [16].

Les principaux avantages des procédés membranaires, basses pressions, par comparaison aux procédés conventionnels de clarification et désinfection sont [17]:

- l'absence d'utilisation de réactifs chimiques (coagulant, floculant, désinfectant) et d'ajustement de pH.
- Une filtration par exclusion de taille à l'opposé d'une filtration en profondeur.
- Une eau produite de qualité constante en termes d'élimination des particules et des microorganismes, indifféremment de qualité de l'eau d'alimentation.
- Une élimination des bactéries pour lequel le chlore est peu efficace.

- La compacité des stations en effet un encombrement plus limité offrant une intégration facile aux installations existantes.

2.2.1. La Microfiltration tangentielle

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

Théoriquement, la différence entre la microfiltration et l'ultrafiltration est très nette.

- l'ultrafiltration fonctionne en phase liquide homogène alors que la microfiltration a pour objectif une séparation solide-liquide ;
 - la pression de travail est généralement plus faible dans le cas de la microfiltration (Pression transmembranaire < 3 bars) ;
 - les flux de filtration sont souvent plus importants dans le cas de la microfiltration.
- Cependant, du point de vue technologique, les deux techniques peuvent se recouper. Ainsi, pour minimiser les phénomènes de colmatage et éviter que des particules solides pénètrent dans les pores des membranes, on a souvent intérêt à utiliser des membranes d'ultrafiltration pour effectuer une opération de microfiltration. Inversement, une membrane de microfiltration peut devenir une membrane d'ultrafiltration (1 à 100 nm) ou même d'osmose inverse (< 1 nm) par suite de la formation en cours de fonctionnement d'une couche de gel à porosité très fine (membrane dynamique).

2.2.2. L'ultrafiltration

L'ultrafiltration utilise des membranes microporeuses dont les diamètres de pores sont compris entre 1 et 100 nm. De telles membranes laissent passer les petites molécules (eau, sels) et arrêtent les molécules de masse molaire élevée (polymères, protéines, colloïdes)[19]. Pour cette raison, cette technique est utilisée pour l'élimination de macro solutés présents dans les effluents ou dans l'eau à usage domestique, industriel (électronique) ou médical.

2.2.3. La nanofiltration

Cette technique se situe entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration. Elle permet la séparation de composants ayant une taille en solution voisine de celle du nanomètre (soit 10 Å) d'où son nom. Les sels ionisés monovalents et les composés organiques non ionisés de masse molaire inférieure à environ 200 - 250 g/mol ne sont pas retenus par ce type de membrane. Les sels ionisés multivalents (calcium, magnésium, aluminium, sulfates...) et les composés organiques non ionisés de masse molaire supérieure à environ 250 g/mol sont, par contre, fortement retenus[18].

N. B. : Dans le cas des macromolécules, l'unité de masse molaire que l'on utilise est le dalton : 1 Da = 1 g/mol.

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

2.2.4. L'osmose inverse

L'osmose inverse utilise des membranes denses qui laissent passer l'eau et arrêtent tous les sels.

Cette technique est utilisée pour :

- Le dessalement des eaux de mer.
- Le dessalement des eaux saumâtres.
- La production d'eau ultra pure.
- La production d'eau de process.

Le phénomène d'osmose est un phénomène qui tend à équilibrer la concentration en solutés de part et d'autre d'une membrane semi-perméable. Le phénomène d'osmose est un phénomène naturel courant, notamment à travers les membranes cellulaires.

La membrane semi-perméable laissera passer le solvant (le soluté ne passe pas) pour équilibrer la concentration. La différence de concentration crée une pression, appelée pression osmotique. Pour inverser le passage du solvant et augmenter la différence de concentration, il faut appliquer une pression supérieure à la pression osmotique.

La pression osmotique (Π) est d'autant plus importante que la concentration est élevée et que la masse molaire est faible.

N. B : la pression osmotique de l'eau de mer est de l'ordre de 25 bars

2.3. Types des membranes

2.3.1. Selon leur nature

Les membranes sont fabriquées à partir de différents matériaux, de type organique ou minéral.

2.3.1.1. Les membranes minérales ou céramiques

Sont de type composite (zircone 'ZrO₂' sur support carbone macroporeux ou sur alumine 'Al₂O₃', ou oxyde de titane 'TiO₂' sur alumine ou encore totalement en carbone ou en alumine). Elles sont largement répandues car elles sont très sélectives, très perméables et peuvent être soumises plus facilement à des procédés de nettoyage assez agressifs sans trop être altérées. Elles ont une excellente résistance chimique, mécanique et surtout thermique [19].

2.3.1.2. Les membranes organiques

Elles sont fabriquées à partir de polymères. Les dérivés cellulosiques restent encore très utilisés, ainsi que les polyamides (en OI et NF). D'autres polymères, tels que les polyacrylonitriles (PAN), les polysulfones (PS) et les polyfluorures de vinylidène (PVDF) sont de plus en plus répandus car ils résistent mieux à l'oxydation, au pH ou à la température [19].

2.3.2. Selon leur porosité

2.3.2.1. Membranes poreuses

Ce type de membrane est similaire par sa structure au filtre conventionnel (de diamètre de pore supérieur au micron), mais elle diffère par la taille de ses pores 0,01 à 1 micron. Les particules plus grosses que les pores sont toutes retenues, celles de taille comprise entre les plus gros pores et les plus petits sont partiellement retenues, et les particules de plus petites tailles passent en totalité. La séparation de soluté par des membranes poreuses est donc principalement une fonction de taille moléculaire et de distribution de taille de pores. En général, seulement les molécules qui diffèrent largement de taille peuvent être séparées par des membranes poreuses, par exemple en microfiltration ou ultrafiltration. Généralement, en vue d'une meilleure sélectivité, une membrane poreuse est confectionnée de façon à comporter une distribution des diamètres des pores centrée autour d'une seule valeur [20] :

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

- soit une taille supérieure à 50 nm dans le cas des macropores.

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

2.3.2.2. Membranes denses

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

Dans une membrane dense, lorsque les pores se réduisent aux espaces libres situés entre les chaînes de polymères, leur taille est voisine de celles des molécules organiques simples ou des ions hydratés. L'effet tamis devient donc négligeable [19].

2.3.3. Selon leur fabrication

Pour obtenir une perméabilité sélective élevée, compatible avec un usage industriel, il est nécessaire que la barrière soit la plus mince possible. Il en résulte une certaine fragilité qui a été palliée par la consolidation de la barrière mince par différents moyens que ce soit, un support à pores de même nature ou de nature différente, un support tissé.

2.3.3.1. Membranes isotropes (ou symétrique)

Ces membranes denses ou poreuses ont la même structure sur toute leur épaisseur.

3.3.3.2. Membranes anisotropes (ou asymétriques)

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

d'épaisseur minimale de 20 μm .

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

Les membranes minérales, aussi asymétriques, sont composées d'une matrice à base d'alumine ou de carbone sur laquelle sont appliquées une ou plusieurs couches d'oxydes minéraux. La dernière couche est appliquée par frittage. Ainsi, la taille des pores est déterminée par granulométrie de la poudre initiale [19].

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

2.3.3.3. Membranes composites

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

2.3.3.4. Membranes à charge électrique

Ces membranes peuvent être denses ou poreuses. Les parois des pores sont chargées d'ions positifs ou négatifs. Les membranes chargées positivement favorisent le passage de cations celles chargées négativement favorisent le passage d'anions [19]. Donc la séparation avec des membranes chargées est basée principalement sur la répulsion d'ions de même charge, mais aussi par la taille des pores. La séparation est contrôlée par la charge et la concentration des ions. Par exemple, les ions monovalents sont plus difficilement retenus que les ions bivalents, et dans les solutions à force ioniques élevées la sélectivité diminue. On rencontre ce type de membranes principalement en électrodialyse, mais aussi en osmose inverse.

Les différents types de membranes décrits ci-dessus sont présentés sur la figure suivante :

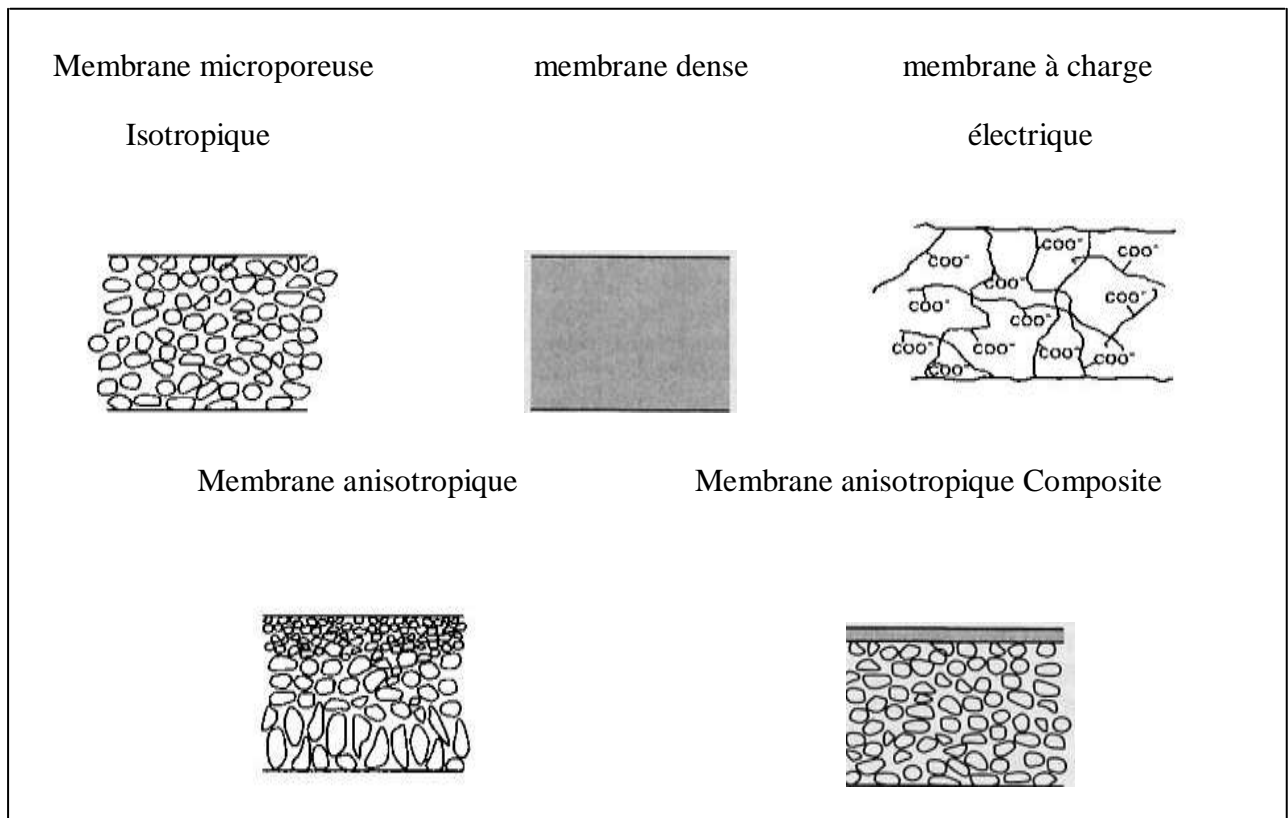


Figure 2.3 : Description des différents types de membrane [20]

2.4. Caractéristiques des membranes

2.4.1 Seuil de coupure

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

2.4.2. Sélectivité

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

2.4.3. Perméabilité

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

2.5. Définition du Module

Un module est la plus petite unité qui peut être changée dans un système industriel. Il s'agit d'un assemblage de membranes avec une entrée d'alimentation commune et des sorties communes de perméat et de concentré. Le module comporte des cadres séparateurs ou des drains intercalaires, et généralement des joints de colle pour assembler les membranes et assurer l'étanchéité entre l'alimentation et le perméat. Un module ne comporte pas d'accessoires et d'équipement tels que des dispositifs de mesure, de mise sous pression, de contrôle, etc [21].

2.5.1. Types de modules

Les différents types de modules sont :

2.5.1.1 Les modules tubulaires

Un module tubulaire contient plusieurs tubes qui peuvent être en série ou en parallèle. L'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes et le perméat est recueilli à l'extérieur de ces tubes. Les tubes constituent des canaux d'écoulement tangentiel. C'est le seul type de module qui peut être nettoyé mécaniquement avec un système de balles de mousse qui raclent les parois des tubes [22]. L'écoulement à l'intérieur des tubes est turbulent, voire très turbulent [23]. A cause de la taille des canaux tangentiels, cette configuration entraîne a priori une dépense d'énergie plus importante que dans les autres configurations.

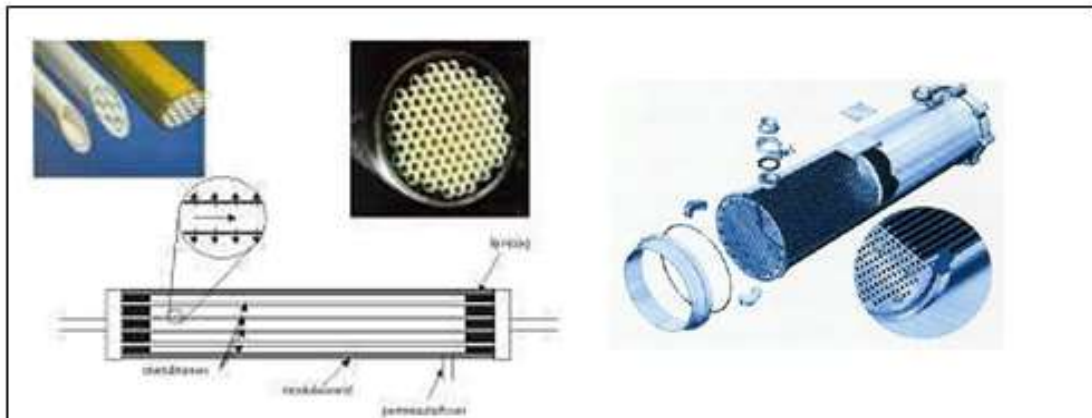


Figure 2.4 : modules tubulaires

2.5.1.2. Les modules à fibres creuses

Ce type de module se présente comme un ensemble de fibres creuses (figure 2.5) regroupées dans une enveloppe. La peau est localisée à l'intérieur ou à l'extérieur de chaque fibre selon que le perméat est collecté à l'extérieur ou à l'intérieur des fibres (figure 2.6)

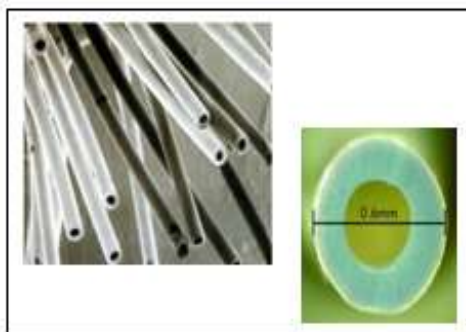


Figure 2.5 : Fibres creuses

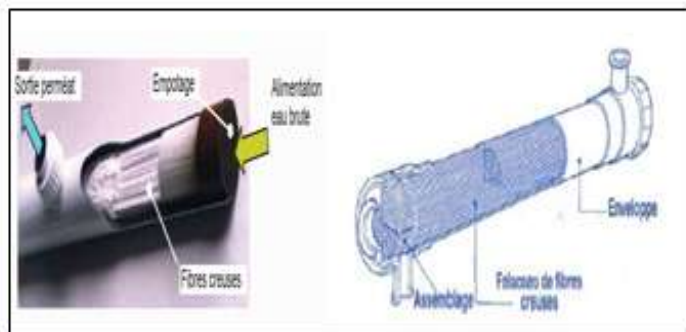


Figure 2.6 : modules à fibres creuses

2.5.1.3. Les modules à membranes plans

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

2.5.1.4. Module à membrane spiralée

Ces modules sont les plus utilisés pour la nanofiltration et l'osmose inverse. Ils sont composés d'un tube perforé, sur lequel sont enroulées successivement une membrane, une grille fine en plastique, une membrane et une grille en plastique plus grossière. Le rétentat circule dans la grille grossière alors que le perméat est acheminé par la grille fine jusqu'au tube central.

Cet arrangement est très compact et convient pour les traitements à haute pression. Le nettoyage et la désinfection sont cependant peu aisés et le débit d'opération est limité.

2.6. Principe de mis en œuvre

Dans cette section, nous allons décrire les deux grands types de mise en œuvre des membranes:

2.6.1. Ecoulement frontale

En filtration frontale ; l'écoulement se fait dans une seule direction soit perpendiculairement à la surface de la membrane

Ce type de mise en œuvre est souvent utilisé pour des essais à l'échelle de laboratoire, dans des cellules de filtration, ayant un volume de moins de quelques litres (voir Figure 2.7). Le principal avantage de cette façon de tester les membranes est sa simplicité[24]. En effet, il n'est pas utile de recirculer la solution à filtrer, et donc il n'y a pas besoin de pompe de recirculation ce qui simplifie énormément le montage expérimental. Une source de pression statique (bonbonne de gaz inerte) peut assurer la force motrice nécessaire à la filtration.

L'écoulement frontal est utilisé à l'échelle industrielle aussi, mais dans une proportion beaucoup moins élevée que l'écoulement tangentiel. Les principaux systèmes à membranes qui l'utilisent sont les systèmes à fibres creuses.

En filtration frontale, le courant à travers la membrane entraîne toutes les espèces dissoutes ou en suspension vers la surface de la membrane. Les espèces retenues par la membrane s'y accumulent très rapidement. En absence de courant de balayage tangentiel de la surface de la membrane, l'efficacité des processus de transport qui limitent l'accumulation à la surface de la membrane est restreinte. Ceci favorise un colmatage rapide de la membrane. À la Figure 2.7 nous pouvons aussi observer, dans une cellule de filtration frontale, les particules retenues qui se déposent à la surface de la membrane.

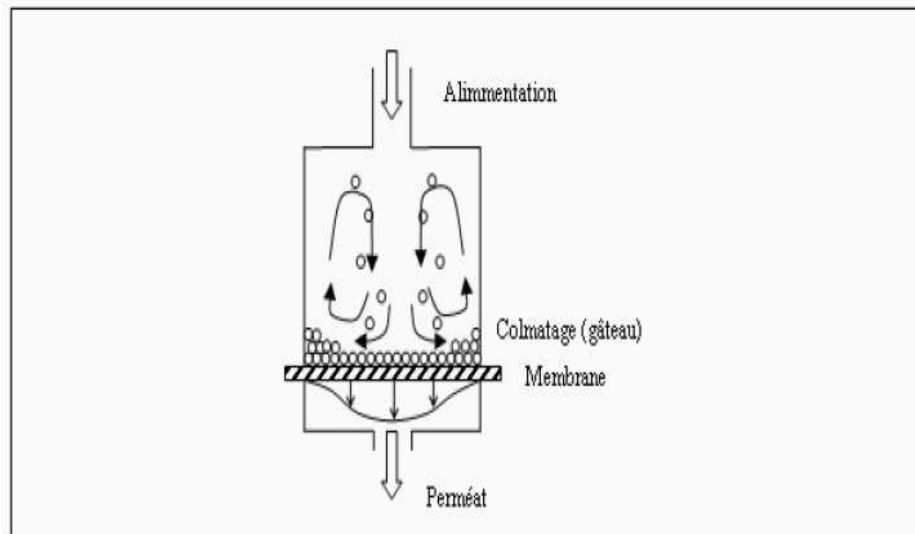


Figure 2.7 : Cellule de filtration frontale [24]

2.6.2. Écoulement tangentiel

Dans ce mode de mise en œuvre, il y a deux écoulements : un écoulement à travers la membrane qui est perpendiculaire à la surface de la membrane comme en écoulement frontal et un écoulement tangentiel à la surface de la membrane (voir Figure 2.8). Dans ce mode de mise en œuvre, il y a donc nécessairement une entrée (l'alimentation) et deux sorties (le perméat et le courant qui correspond à l'eau qui n'est pas passée à travers la membrane et qui est appelé concentré ou rétentat). Ce mode de mise en œuvre amène aussi à définir des canaux d'écoulement tangentiel comme étant les espaces entre les membranes (ou entre une membrane et une paroi non poreuse) où le courant d'alimentation s'écoule parallèlement à la surface des membranes et se concentre d'amont en aval en substances retenues par les membranes.

Ce type de mise en œuvre est utilisé aussi bien à grande échelle (industrielle) qu'à l'échelle laboratoire. Dans ce dernier cas, il faut noter que cela oblige à utiliser des volumes plus grands que dans le cas de l'écoulement frontal [24].

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

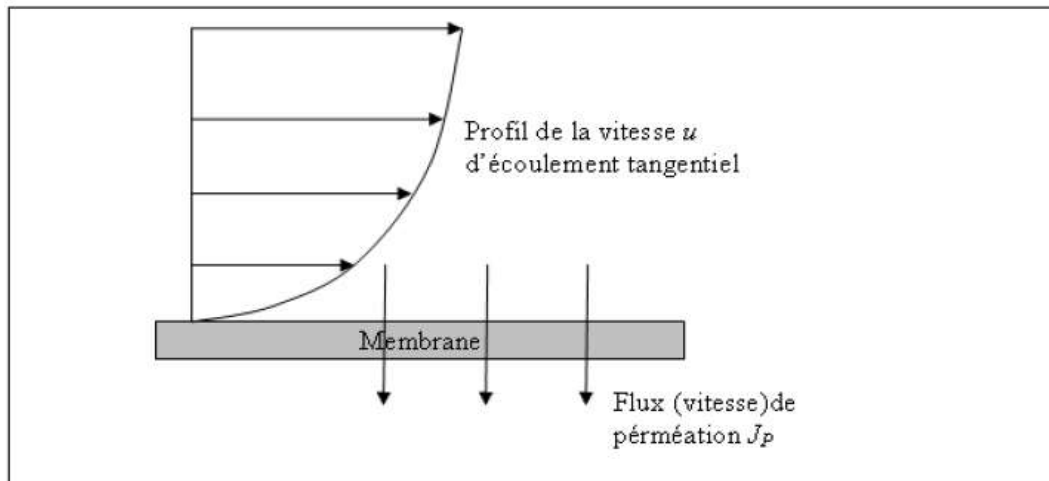


Figure 2.8 : écoulement tangentiel [24]

Il est possible de définir un débit volumétrique et une vitesse d'écoulement tangentiel. Plus la vitesse d'écoulement tangentiel est élevée, plus les effets mentionnés ci avant (rétro-transport vers le cœur de l'écoulement) sont accentués, et par conséquent, plus le colmatage peut être réduit d'une façon significative. C'est à cause de cela que l'écoulement tangentiel est très répandu dans les applications industrielles.

Remarquons aussi que l'écoulement frontal peut être considéré comme un cas limite de l'écoulement tangentiel, où la vitesse d'écoulement tangentiel tend vers zéro.

2.7. Phénomènes de transport

2.7.1. Polarisation de la concentration

Au cours du temps, on assiste à une accumulation des molécules à la surface de la membrane, se traduisant expérimentalement par une diminution du flux de perméat. Ce phénomène réversible est appelé polarisation primaire ou polarisation de concentration (figure 2.9)

Dans le cas où la solution contient des polymères, l'augmentation de la concentration au voisinage de la membrane se traduit par une élévation de la pression osmotique qui ne peut être négligée [25].

L'expression du flux s'écrit alors :

$$J = \frac{1}{\mu} \frac{\Delta P - \Delta \Pi}{R_m} \quad (2.1)$$

Où $\Delta \Pi$ la pression osmotique

Certain auteur prennent compte une résistance supplémentaire R_C correspondant à l'existence de cette couche de polarisation et proposent la relation :

$$J = \frac{1}{\mu} \frac{\Delta P - \Delta \Pi}{R_m + R_C} \quad (2.2)$$

Au bout d'un certain temps, il s'établit un état d'équilibre entre la solution directement au contact de la membrane et le reste du milieu.

Si l'on se place dans le cas d'une vitesse (u) tangentielle à la membrane (figure 2.9), lorsque le régime stationnaire est atteint et en tenant compte du flux qui diffuse en sens inverse sous l'effet d'un gradient de concentration, le bilan de matière du soluté s'écrit :

$$\text{Flux convectif} - \text{Flux diffusionnel} = \text{Flux transféré}$$

Soit :

$$J C(X) - D \frac{dC}{dX} = J C_p \quad (2.3)$$

L'expression (2.1) peut être intégrée et devient :

$$J = \frac{D}{\delta} \ln \frac{C_m - C_p}{C_0 - C_p} = k \ln \frac{C_m - C_p}{C_0 - C_p} \quad (2.4)$$

Où $k = \frac{D}{\delta}$ correspond au coefficient de transfert de masse de solution

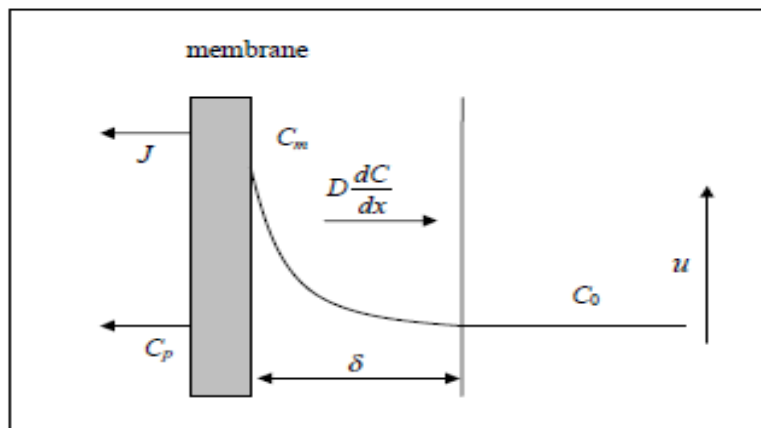


Figure 2.9 : profil de concentration au voisinage de la membrane dans le cas d'une polarisation primaire

2.7.2. Formation de la couche de gel

Lorsque la pression appliquée augmente, la concentration de la macromolécule peut atteindre, au voisinage de la membrane, la limite de solubilité. Il s'en suit la formation d'une couche de gel. Cette couche se comporte comme si l'on ajoutait une membrane supplémentaire, (Figure 2.10).

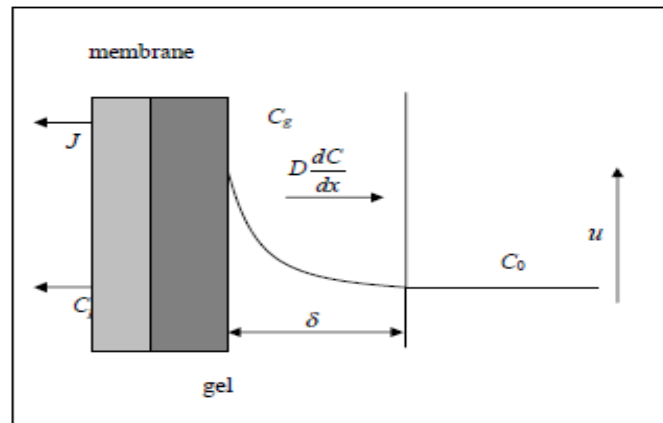


Figure 2.10 : profil de concentration au voisinage de la membrane dans le cas d'un gel

Le phénomène se traduit par l'addition d'une résistance R_g . L'expression du flux s'écrit alors :

$$J = \frac{1}{\mu} \frac{\Delta P - \Delta \Pi}{R_m + R_C + R_g} \quad (2.5)$$

L'allure des courbes $J = f(\Delta P)$ (figure 1.11) montre que, dans ce dernier cas, le flux atteint une valeur limite et devient indépendant de la pression, Il est à signaler que $\Delta \Pi$ est nulle dans le cas de la microfiltration.

La concentration à la surface de la membrane devenant égale à C_g . L'expression (2.2) peut alors s'écrire :

$$J_{lim} = k \ln \frac{C_g - C_p}{C_0 - C_p} \quad (2.6)$$

Si la concentration dans le perméat est nulle, on obtient l'expression du flux limite J_{lim} :

$$J_{lim} = k \ln \frac{C_g}{C_0} \quad (2.7)$$

Il est alors possible, en prenant de différentes concentrations initiales et en déterminant les flux limites correspondants, d'accéder à la valeur de C_g en traçant les droites $J_{lim} = f(\ln c_0)$.

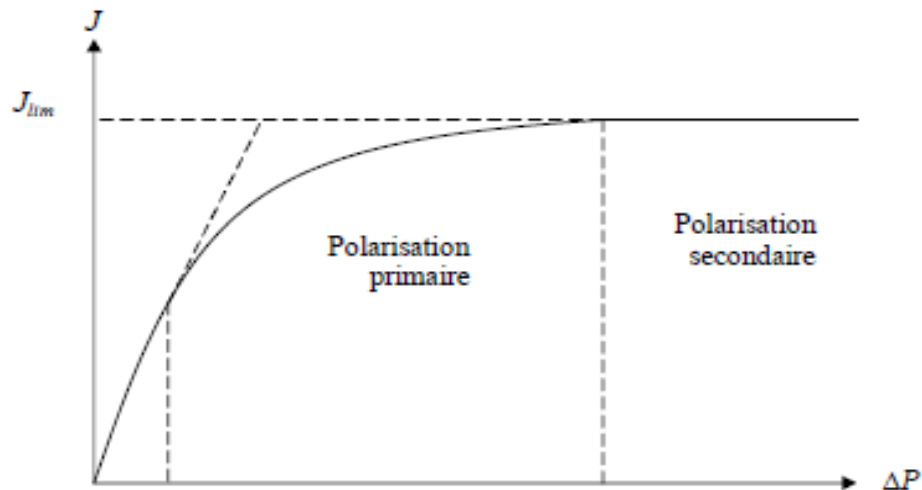


Figure 2.11 : Allure des courbes donnant les variations du flux
en fonction de la pression

2.7.3. Mécanismes de colmatage

Le colmatage des membranes peut être considéré comme un ou plusieurs des mécanismes suivants :

- accumulation/dépôt de matière sur la surface de la membrane.
- blocage des pores.
- adsorption de molécules sur le matériau membranaire (Figure 2.12).

Plusieurs facteurs contribuent au colmatage comme les propriétés de surface, les conditions hydrodynamiques, la force ionique et la concentration de soluté [26].

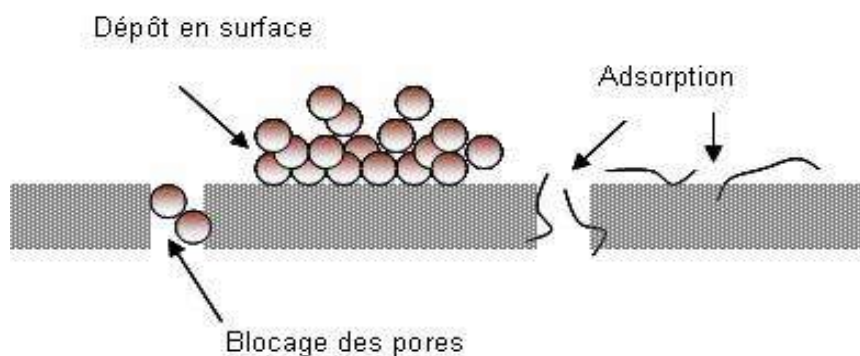


Figure 2.12 : Schématisation des différents mécanismes de colmatage d'une membrane

2.7.3.1. Dépôt de matière en surface

Ce mécanisme intervient lorsque la solution à traiter contient des matières en suspension, et/ou colloïdales. Ces matières constituent alors une couche poreuse appelée gâteau de filtration ou dépôt dans lequel peuvent venir aussi s'accumuler des matières organiques. Ce colmatage est généralement réversible par lavage ou rétrolavage à l'eau.

2.7.3.2. Blocage des pores

Il s'agit de la pénétration et du blocage, partiel ou total, des pores de la membrane par des matières en suspension, dont la taille est proche de celle des pores de la membrane. Ce phénomène est important en microfiltration, mais il n'intervient quasiment pas en ultrafiltration. Un rétrolavage permet généralement d'éliminer ce colmatage.

2.7.3.3. Adsorption

Les solutés ayant une affinité physico-chimique pour le matériau membranaire peuvent s'y adsorber.

Cela entraîne une augmentation de la résistance au transfert. Ce mécanisme de colmatage est dit irréversible hydrauliquement. Des lavages chimiques sont nécessaires afin de casser les liaisons soluté-membrane.

2.8. Modèles de colmatage

Il n'existe pas actuellement de modèle de colmatage pour la filtration tangentielle de solution colloïdale qui puisse s'appliquer de manière satisfaisante à la filtration des eaux de surface. Par contre, plusieurs chercheurs ont appliqué des modèles classiques de filtration frontale à la filtration tangentielle.

La loi classique de filtration frontale a été proposée à l'origine sous la forme suivante :

$$\frac{d^2 t}{dV} = k \left(\frac{dt}{dV} \right)^n \quad (2.8)$$

Tous les modèles de filtration classique exprimés sous la forme présentée avec la puissance n caractérisent un modèle spécifique : $n = 0$ pour la filtration sur gâteau, $n = 1$ pour un blocage intermédiaire, $n = 1.5$ pour l'obstruction des pores ; et $n = 2$ pour le blocage total des pores. Ensuite, quelques chercheurs ont modélisé l'évolution du flux transmembranaire en fonction du mécanisme de colmatage impliqué [28]. L'utilisation de ces modèles met généralement en évidence la coexistence des quatre types de colmatage décrits précédemment. Il est cependant

impossible de déterminer avec précision les mécanismes qui interviennent de manière prépondérante. Ces modes sont présentés ci-dessous :

2.8.1. Modèle de filtration sur gâteau

Le modèle de filtration sur gâteau est très répandu. Celui-ci décrit le processus de filtration quand un gâteau est formé progressivement et régulièrement de la membrane. L'hypothèse de base de ce modèle est que la quantité de matière déposée à la surface du filtre est proportionnelle au volume d'eau filtré [26].

2.8.2. Modèle de blocage total des pores

L'hypothèse de base de ce modèle est que chaque particule présente dans la solution à filtrer va participer au blocage complet des pores [26]. La surface poreuse (surface totale des pores) diminue proportionnellement au volume d'eau filtré. Le débit de perméat est donc relié au volume filtré.

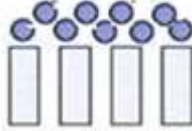

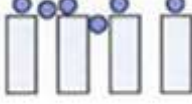

2.9.3. Modèle de blocage intermédiaire

Ce modèle suppose que les particules s'accumulent les unes avec les autres et obstruent les pores. Le volume V peut être exprimé en fonction du débit de perméat initiale J_0 (qui correspond à la membrane propre) et le temps t .

2.9.4. Modèles standard de colmatage des pores

Ce modèle est basé sur l'hypothèse que le volume des pores de la membrane diminue proportionnellement au volume filtré à cause du dépôt de particules sur la paroi interne des pores. Le rapport entre le débit de perméat J au temps t et le débit initial de perméat J_0 peut être exprimé en fonction du volume cumulé de perméat [26].

Tableau 2.1 : Résumé des différentes lois établies (expression mathématique et traduction physique)[26][27]. J_0 représente le flux initial de la membrane

Loi de filtration	Equation	Description
<p>Formation d'une couche de gâteau ($d_{part} > d_{pores}$)</p>	$\frac{t}{V} = \frac{k_{CF}}{4J_0^2} V + \frac{1}{J_0}$	 <p>Les particules sont retenues et forment un gâteau à la surface de la membrane, dépôt dont l'épaisseur croît avec le temps</p>
<p>Blocage de pore dit blocage total ($d_{part} \sim d_{pores}$)</p>	$V = \frac{J_0}{k_{CFS}} (1 - e^{-k_{CB}t})$	 <p>Les particules ne s'accumulent pas les unes aux autres, mais celles arrivant à la surface viennent bloquer les pores</p>
<p>Adsorption à long terme, modèle dit de blocage intermédiaire ($d_{part} \sim d_{pores}$)</p>	$V = \frac{J_0}{k_{IB}} \ln(1 + k_{IB}t)$	 <p>Les particules s'accumulent les unes sur les autres et obstruent les pores</p>
<p>Adsorption directe, modèle dit du blocage standard ($d_{part} \ll d_{pores}$)</p>	$\frac{t}{V} = \frac{1}{J_0} + \frac{k_{SB}}{J_0} t$	 <p>Les particules se déposent à l'intérieur des pores, diminuant ainsi leur diamètre</p>

2.9. Nettoyage

2.9.1. Types de nettoyage

Trois types de nettoyage sont de façon générale pratiqués :

- le nettoyage mécanique, un nettoyage partiel, mais rapide ;
- le nettoyage chimique, qui implique un arrêt de production périodique, génère des coûts en solutions de lavage et en traitement des effluents;
- le nettoyage enzymatique.

2.9.1.1. Nettoyage mécanique

Le principe consiste à décoller et retirer la matière accumulée sur la membrane par des forces mécaniques, d'origine hydrodynamique. La procédure généralement utilisée est le rétrolavage : une partie du perméat est retourné à contre-courant à travers la membrane. Une telle pratique nécessite une membrane qui soit en mesure de supporter physiquement un gradient de pression inversé. Une autre pratique consiste à utiliser des écoulements pulsés, ce qui permet d'augmenter périodiquement la vitesse tangentielle à la surface de la membrane. Enfin, par injection continue ou occasionnelle d'air (ou de gaz) à travers la membrane, la matière déposée en surface peut éventuellement se décoller.

Très efficace dans le cas de dépôts faiblement liés au support, ce type de nettoyage ne concerne que les configurations tubulaires ou spiralées. Toutefois il ne permet pas de se libérer totalement du nettoyage ou de la désinfection par voie chimique, mais vise à réduire leur fréquence.

2.9.1.2. Nettoyage chimique

Il se compose d'une séquence de lavage acide et basique, ainsi que de phases de rinçage. La durée d'une séquence de nettoyage peut aller de 30 à 60 min. Les nettoyages sont généralement effectués à la température la plus élevée que la membrane peut supporter sans dégradation, pour une meilleure efficacité, soit de 60 à 80 °C. Les principales étapes de nettoyage se déroulent ainsi :

- le premier rinçage a pour but d'éliminer les composants solubles accrochés à la membrane. On utilise donc l'effet mécanique d'un écoulement tangentiel à haute vitesse ainsi que l'effet solvant de l'eau.
- le premier nettoyage à base d'acide, a pour objectif de solubiliser les couches d'entartrage contenant calcium, tartre et minéraux, et ainsi d'éviter la formation

d'hydroxydes insolubles donc très difficiles à éliminer.

- un deuxième rinçage permet d'éviter la neutralisation de la deuxième solution de nettoyage.
- le deuxième nettoyage, alcalin, a principalement pour effet d'hydrolyser la matière organique et biologique.

La séquence de nettoyage dépend bien évidemment du contexte d'utilisation. Par exemple, pour une application de traitement du lait, où les protéines constituent le principal composant du colmatage, le traitement alcalin précèdera le nettoyage acide. Par contre, lorsque le colmatage inorganique domine, le traitement acide sera généralement effectué en premier lieu. L'agent de nettoyage doit à la fois être efficace pour éliminer l'agent colmatant et inoffensif vis-à-vis des membranes et du procédé. Par exemple, des solutions d'HCl ne sont pas utilisables en présence d'acier inoxydable. La connaissance de la nature du matériau membranaire et de son environnement conduit à exclure certains réactifs et impose la limite en pH, en température en temps de contact et en concentration.

2.9.1.3. Nettoyage enzymatique

Ce type de nettoyage constitue une alternative aux traitements chimiques. Il peut être appliqué dans les cas de membranes sensibles aux réactifs chimiques, au pH ou à la température élevée, ainsi que dans les cas de colmatage avancé. Bien que peu énergivores et biodégradables, les enzymes requièrent des temps de traitement plus longs que les traitements chimiques et sont aussi plus coûteux. Pour ces raisons, ils sont peu souvent adoptés.

2.10. Quelques travaux réalisés concernant la microfiltration des eaux

Il y a énormément de travaux qui ont été réalisés par différents auteurs dans ce contexte, parmi lesquels on peut citer :

2.10.1. No-Suk Park et al. (2015) [28]

L'auteur a travaillé sur l'eau de lavage d'une station de production d'eau potable utilisant le procédé de microfiltration, il s'intéresse à la détermination des caractéristiques physico-chimiques de l'eau lors d'utilisation de l'air en amont du processus de microfiltration pour minimiser les dépôts à la surface de la membrane, le coagulant à base du cation polyaluminium a été injecté et mélangé avec l'eau brute avant le processus de microfiltration. Il a trouvé que la valeur du potentiel zêta de l'eau de lavage a été réduite par rapport à celui de l'eau brute.

2.10.2. Sangho Lee et al. (2008) [29]

Dans cette étude, l'auteur s'intéresse à établir les équations décrivant le modèle d'encrassement ou de colmatage, pour déterminer la performance des systèmes immergés à fibres creuses avec des conditions différentes en termes de caractéristiques d'alimentation d'eau et de matériaux de la membrane. Une série d'expériences avec l'alimentation synthétique et eau brute ont été effectuées en utilisant des modules de membranes hydrophiles et hydrophobes. Le modèle s'adapte avec succès avec les résultats expérimentaux pour une alimentation synthétique ainsi que l'eau brute. Les mécanismes d'encrassement majeurs pour la filtration de l'eau brute en utilisant des membranes hydrophiles et hydrophobes sont identifiés comme formation d'un gâteau et le blocage standard, respectivement. Les calculs de modélisation indiquent que les distributions de flux et la résistance gâteau (dépôt) sont sensibles avec la longueur de la membrane.

Chapitre III

Matériel et méthodes

CHAPITRE III

Matériel et méthodes

3.1. Introduction

En de nombreux lieux de l'Algérie, l'eau est devenue un bien très rare de plus en plus surexploitée. Cette crise croissante de l'eau menace particulièrement la sécurité, la stabilité et durabilité du développement du pays.

Une identification préliminaire des problèmes majeurs, fait de l'eau selon le catalogue des données, le premier handicap pour un développement durable de la région de Mila.

C'est dans ce cadre, et pour subvenir aux besoins de la population en eau avec le soutien du ministère des ressources en eau ; qu'un plan d'action été élaboré en relation avec la réalisation du barrage Beni Haroun.

La station de traitement d'eau potable de AIN TINN est prévue pour traiter un débit moyen d'eau brute de 67725 m³/j. L'eau brute est une eau de surface dont la qualité sera à vérifier régulièrement pour que la potabilisation puisse être assurée, la qualité de l'eau traitée doit respecter la recommandation de l'OMS.

Tous les détails de la partie expérimentale sont présentés dans cette partie, en particulier l'origine de l'eau brute utilisée dans toutes nos expériences, le dispositif expérimental et les caractéristiques de la membrane ; les différentes méthodes d'analyse utilisées sont aussi exposés dans ce chapitre.

3.2. Présentation de la station de Traitement de Ain Tinn

3.2.1. Source d'eau brute ou de surface (alimentation)

La station de traitement Ain Tinn est alimentée soit par le bassin tampon 20.000 m³, soit par retour à partir du réservoir de Oued El Athmania exclusivement alimenté par le barrage de Beni Haroun situé à environ 20 km de la station de traitement.

La station de traitement de Ain Tinn est donc conçue afin d'assurer une production continue en eau potable.

3.2.2. Qualité de l'eau brute

Un poste de pompage d'une capacité de plus de 80000 m³/h assure le relèvement et le transfert des eaux du Beni Haroun vers la station d'Ain Tinn.

Les eaux du bassin de Beni Haroun, qui est alimenté par les eaux des Oued Rhumel, Oued Endja et oued el kabir ont fait l'objet de nombreuses analyses en différents points et à différentes périodes qui ont révélé des risques élevés de pollution urbaine qui atteignent des valeurs maximales en aval de la ville de Constantine [30].

Certaines de ces analyses ont en fait démontré que dans le pire des scénarios la qualité de l'eau brute pourrait risquer de ne pas répondre aux caractéristiques normales d'une eau brute destinée à être potabilité.

La station d'Ain Tinn est donc conçue afin d'assurer une production continue en eau potable indépendamment du niveau de criticité de la qualité de l'eau brute tel que défini contractuellement par les limites de garantie.

3.2.3. Etudes

La zone d'étude appartient aux études d'approvisionnement en eau potable des villes de Mila, Constantine et les régions avoisinantes à partir du transfert de Ben Haroun.

La station de traitement Ain Tin est composée de 21 ouvrages, pour une capacité de 64500 m³/j en première phase (2015) et 86000 m³/j en deuxième phase (2030).

La conduite d'eau brute arrive à l'entrée du brise charge de la station de traitement Ain Tin en passant par une vanne de régulation de pression 800 DN avec un by-pass 600 DN.

Les conduites (dans la station) sont en Inox, GRP, PEHD, PVC (drains) ou en acier galvanisé à chaud.

Des dispositifs de fixation et d'autres pour éviter la transmission des vibrations et des bruits, sont prévus.

Le réservoir d'eau traitée est d'une capacité de 22000 m³, situé juste en aval de la station de traitement.

Toute la tuyauterie de la station de traitement est adaptée aux réactifs utilisés.



Figure 3.1 : station de traitement de Ain Tinn

3.2.4. Situation géographique

La station de traitement Ain Tinn est située à une dizaine de kilomètres à L'Est de la ville de Mila sur le couloir 1 présenté sur la carte géographique (figure 3.2).

Le couloir 01 se divise géographiquement en deux parties ; une située à l'Est de la ville de Mila (Mila, Zeghaia, Oued Endja, Ahmed Rachedi, Rouached, Yahia Beni Guecha, Tibergaunt et Ferdjioua), et l'autre au Nord de la ville de Mila (Sidi Merouane et Grarem Gouga).



Figure 3.2 : Situation géographique

3.2.5. Climat

Le climat de la région est de type méditerranéen, en général tendance sub-humide (semi-aride) marqué par une saison sèche et chaude et une autre humide et froide avec de courtes transitions.

La saison humide s'étalant sur huit (08) mois avec une pluviométrie annuelle qui varie entre 350 mm et 700 mm et une température minimale de 3°C à 4°C au mois de janvier, par contre, la saison sèche en été enregistre des températures maximales de l'ordre de 42°C au mois de juillet.

Les vents dominants sont de secteur Nord-Ouest et sont généralement suivis par des pluies en hiver. Les vents du Nord et Nord-Est sont peu fréquents; cela est dû aux obstacles naturels (reliefs). Par contre, en été les vents dominants sont de direction Sud. En outre, la région connaît des gelées fréquentes en moyenne de 30 jours par an.

3.2.6. Hydrologie

Les éléments fondamentaux de l'hydrologie locale sont les oueds qui drainent tout le territoire et s'écoulent du Sud vers le Nord (barrage Beni Haroun). Un peu partout dans la région, il existe un certain nombre de sources sans importance.

3.2.7. Qualité de l'eau traitée

La station de traitement est conçue pour pouvoir assurer une alimentation continue en eau potable, exempte d'organismes pathogènes. La qualité finale de l'eau après traitement sera conforme aux normes suivantes :

- turbidité.....inférieure à 0.5 NTU.
- Goût et odeur.....acceptable pour le consommateur.
- Couleur..... Inférieure à 15°Hazan.
- Aluminium..... Inférieure à 0.2mg/L.
- Fer..... inférieure à 0.3mg/L.
- Manganèse..... Inférieure à 0.1mg/L.
- Nitrate.....50mg/L.
- Nitrite.....3mg/L.
- pH.....6.5 à 8.5.
- E.coli.....néant sur tout échantillon De 100ml.
- Totale bactéries coliformes.....néant sur tout échantillon De 100ml.
- Oxygène dissous.....> 75% saturation.

3.2.8. Chaîne de traitement

Afin d'assurer une production d'eau potable continue et respectant les exigences contractuelles, la chaîne de traitement de la station d'Ain Tinn est constituée des installations et des équipements suivants :

- Une chambre de dissipation d'énergie gravitaire de l'eau brute en provenance du bassin tampon d'Ain Tinn.
- Un débitmètre pour la mesure et la régulation du débit d'eau brute.
- Un bassin d'aération pour l'oxygénation de l'eau brute et avec possibilité d'ajout de Permanganate de potassium pour la précipitation du manganèse.
- Deux bassins de pré ozonation pour la destruction des algues, planctons et autres organismes aquatiques.
- Un bassin de mélange hydraulique rapide avec possibilité d'ajout d'acide sulfurique pour la régulation du pH et de sulfate d'aluminium pour la coagulation des particules colloïdales.
- Un bassin de mélange hydraulique lent avec possibilité d'ajout d'un adjuvant à la coagulation ou polymère.
- Trois chambres de répartition du débit vers les décanteurs.
- Trois décanteurs de type PULSATOR.
- Six filtres nitrificateurs de type NITRAZUR.
- Deux bassins de post-ozonation pour la désinfection des eaux nitrifiées.
- Six filtres à charbon gravitaires de type CARBAZUR pour l'élimination des matières en suspension et des matières organiques biodégradables.
- Deux cuves de contact permettant une désinfection finale au chlore gazeux ou à l'hypochlorite de sodium.
- Deux réservoirs de stockage de l'eau traitée pour assurer une distribution continue d'eau potable en cas d'arrêts de production ponctuels de courtes durées.

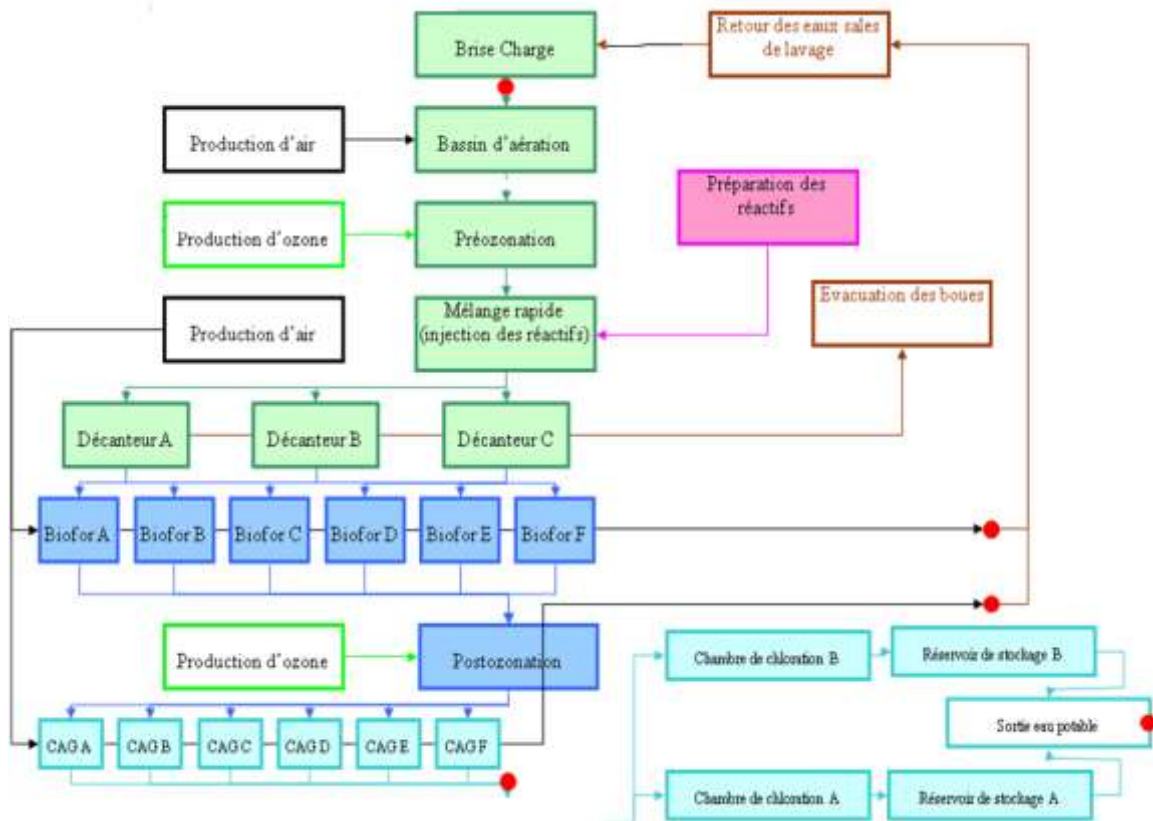


Figure 3.3 : Chaîne de traitement au niveau de la station de Ain Tinn.

3.2.9. Les procédés de traitement

3.2.9.1. Brise charge

La régulation du débit d'eau brute est assurée par un ensemble : Débitmètre électromagnétique et une vanne de régulation motorisée interconnectée et contrôlée par un automate.

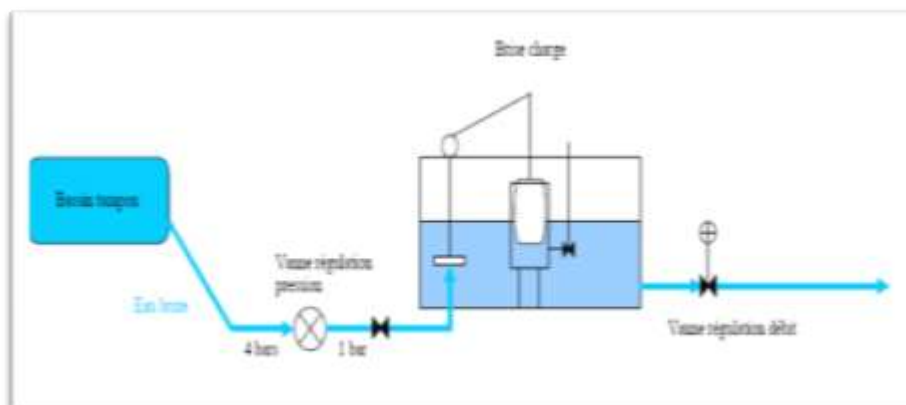


Figure 3.4 : Brise charge, Débitmètre et vanne de régulation

3.2.9.2. Aération de l'eau brute

Dans les dispositifs d'aération à air diffusé, l'air comprimé est forcé à l'intérieur par les diffuseurs. Cet air traverse l'eau de bas en haut sous forme de bulles.

L'air utilisé est produit par des compresseurs.

Le contact eau et air a pour objectif de :

- Changer la concentration des substances volatiles (H_2S , CO_2 ...).
- Oxyder certaines substances chimiques (Fe, Mn,...) et organiques.
- De permettre aux bactéries nitrifiantes de proliférer (bactéries aérobies).

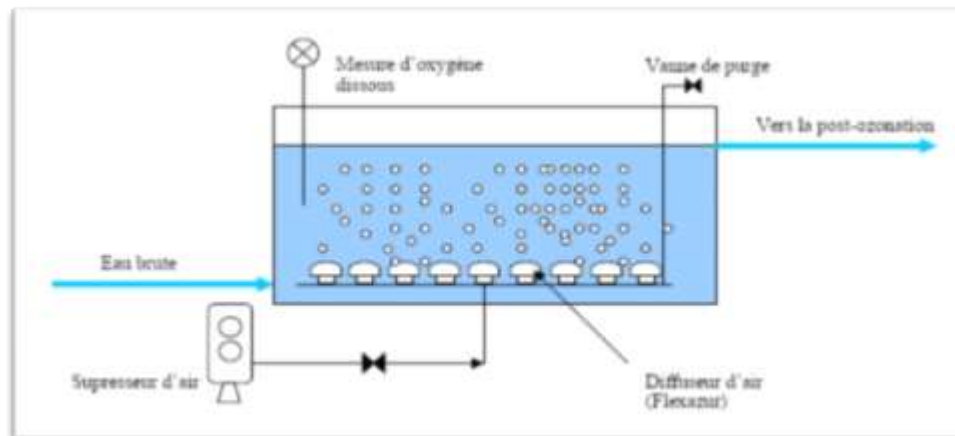


Figure 3.5 : Bassin d'aération

3.2.9.3. Pré ozonation

L'eau brute contient une forte teneur en matières organiques.

Pour cette raison, il est prévu de remplacer la pré-chloration par une pré-ozonation.

L'ozone permettra :

- La déstructuration des particules colloïdales.
- L'oxydation des matières organiques, le Fer et le Manganèse.
- L'amélioration de la coagulation-floculation et le bon fonctionnement de la décantation.
- L'amélioration de la performance des filtres.
- L'élimination des pesticides et herbicides.

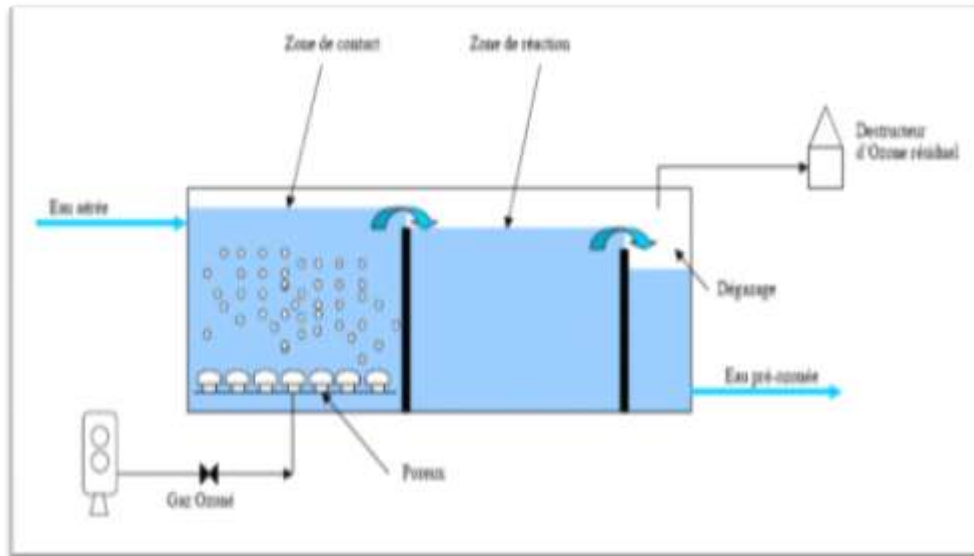


Figure 3.6 : Bassin post pré-ozonation

3.2.9. 4. Coagulation –Floculation

On ajoute à l'eau un coagulant (Sulfate d'Aluminium). Les particules microscopiques stagnantes grossissent et se rapprochent les unes aux autres par neutralisation des charges électriques.

Un floculant (polymère) est injecté en poudre pour que les particules se collent les unes aux autres, à la suite d'un brassage lent ou après une simple séance de contact d'une dizaine de minutes.

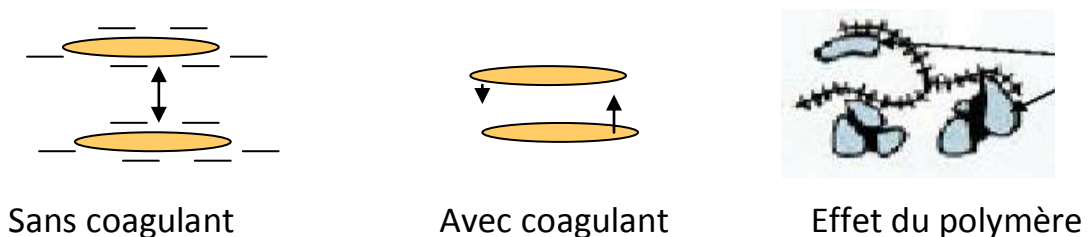


Figure 3.7 : Coagulation –Floculation

3.2.9. 5. Décantation

Les décanteurs de type PULSATOR présentent l'avantage d'être beaucoup plus performants que les décanteurs statiques.

Dans ce type de décanteur, les boues formées par la floculation constituent une masse en légère expansion à travers laquelle l'eau passe de bas en haut, de manière uniforme. Pour se faire, l'eau brute coagulée est introduite à la base du lit de boue par un système de répartition qui provoque un brassage peu énergique mais suffisant pour augmenter ainsi beaucoup la probabilité de captation des colloïdes coagulés par les floccs du lit. L'eau clarifiée ressort à la partie supérieure du décanteur.

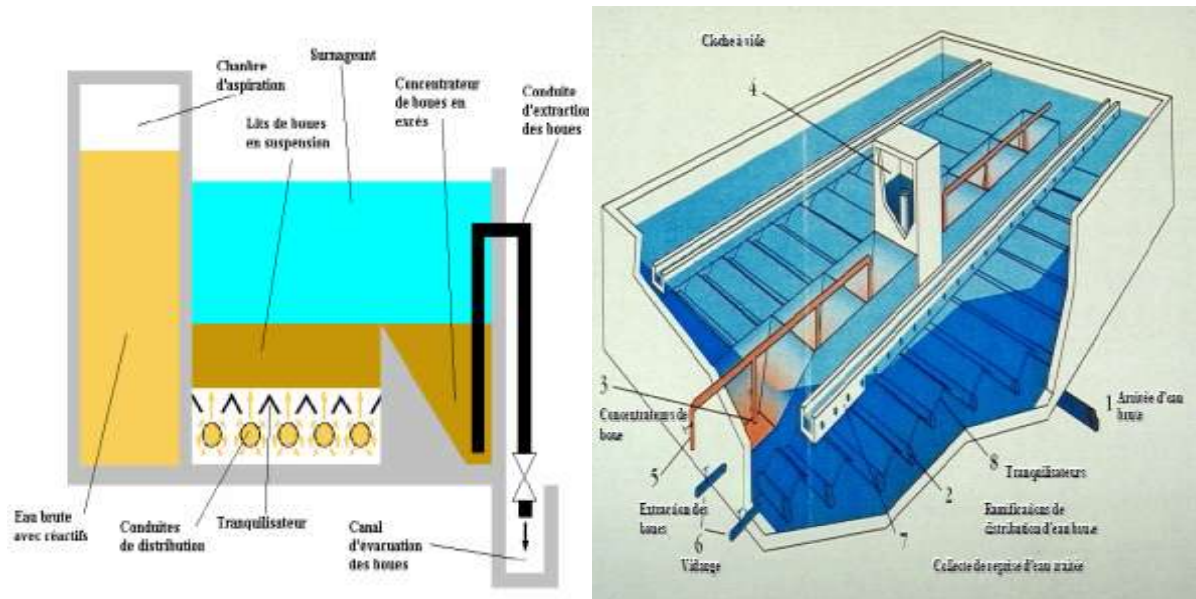


Figure 3.8 : Décanteur à lit de boues pulsées (PULSATOR)

3.2.9.6. Filtration biologique

Les filtres biologiques installés à la station d'Ain Tin permettent la nitrification de l'ammonium présent dans l'eau (transformation en nitrates) par voie biologique selon les réactions suivantes :



Les deux réactions successives impliquent des bactéries de souches différentes, la nitrification (nitrosomonas) et la nitratisation (nitrobacters principalement)

Cette nitrification se réalise sous l'influence de bactéries spécifiques. Ces bactéries sont aérobies (elles nécessitent de l'oxygène) pour pouvoir se développer. Elles se développent autour de petites billes d'argile expansée (la biolite – 2.7 mm de diamètre) de grande superficie spécifique.

Ces filtres jouent aussi un rôle de filtre à MES (non décantées). L'eau en sortie des filtres biologiques sera d'une turbidité plus faible que l'eau décantée.

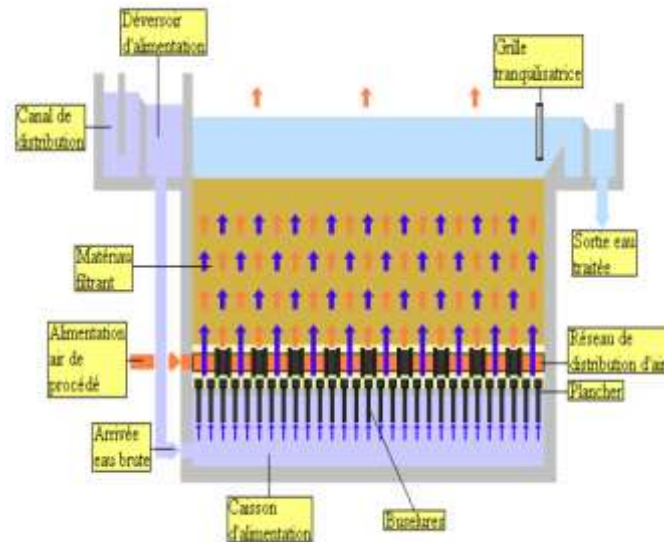


Figure 3.9 : filtre biologique (BIOFOR)

3.2.9.7. Ozonation

La post-ozonation est utilisée pour oxyder les matières organiques résiduelles non oxydées lors des phases précédentes. Le temps de contact en post-ozonation est supérieur à celui de la pré-ozonation (10 minutes environ contre 3 minutes en pré-ozonation), et cela pour assurer une désinfection totale de l'eau.

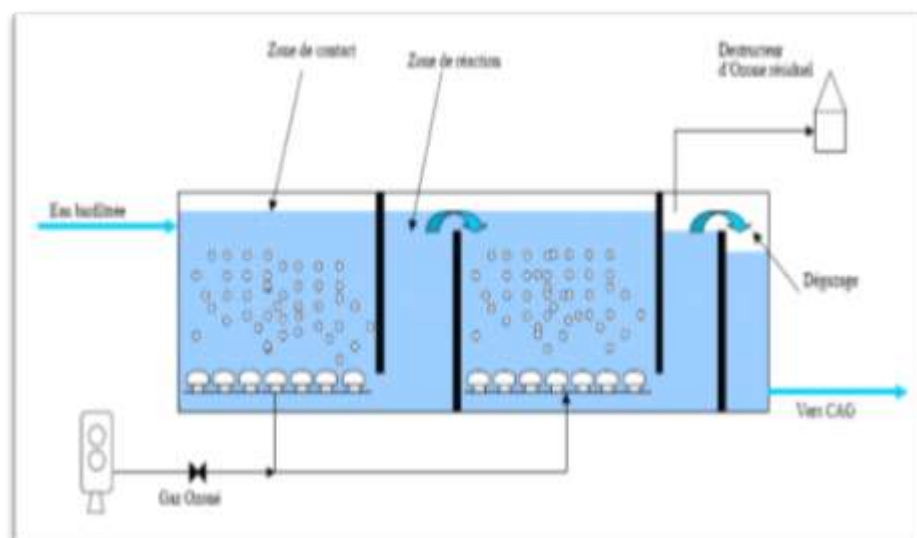


Figure 3.10 : Bassin Post Ozonation

3.2.9.8. Filtration par charbon actif

Les principaux objectifs d'un traitement au charbon actif en grains sont:

- Élimination affinée de la matière organique naturelle.
- Adsorption des micropolluants organiques et minéraux (pesticides, hydrocarbures, solvants chlorés...).
- Amélioration du goût et élimination des odeurs.

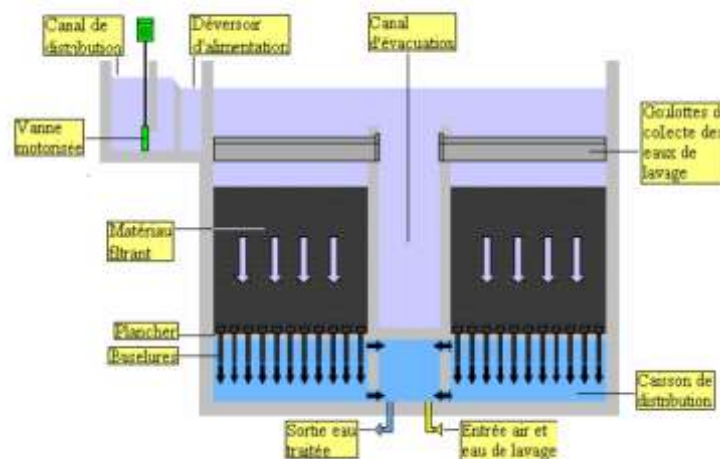


Figure 3.11 : filtre à charbon actif en grain

3.2.9. 9. Désinfection finale

La désinfection finale est réalisée par injection de chlore dans un canal de contact situé dans le réservoir d'eau traitée et cela, selon les normes (résiduel du Chlore 0.5 g/m^3).

3.2.9. 10. Réservoir d'eau traitée

Le réservoir d'eau traitée est un ouvrage formé de deux compartiments d'un volume unitaire de 11000 m^3 , équipé de vannes murales, de vannes papillons, d'un trop plein, des vidanges, tuyauteries, robinetteries, couvercles d'accès, échelles, équipements de mesure et de régulation ainsi que tous les accessoires nécessaires.

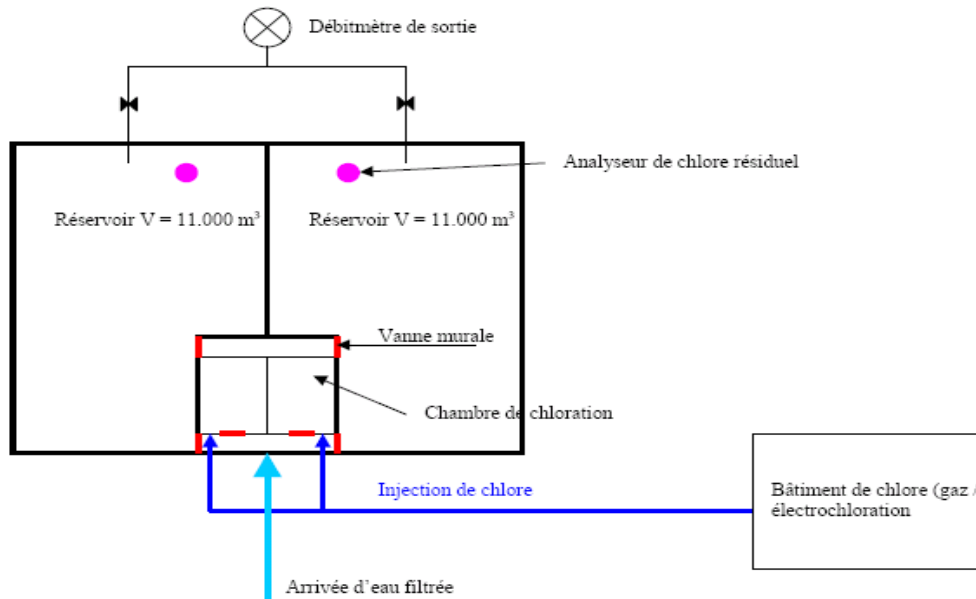


Figure 3.12 : Réservoir d'eau traitée

3.3. Montage expérimental de la microfiltration

Le pilote de microfiltration tangentielle est monté au laboratoire de recherche LIPE (Laboratoire de l'Ingénierie des Procédés de l'Environnement) de la faculté de génie des procédés pharmaceutiques de l'université Constantine 3, il est constitué principalement d'une membrane de microfiltration, d'une pompe de recirculation, d'un manomètre et bien sûr d'une cuve d'alimentation ; le principe de fonctionnement est le suivant :

La solution à filtrer (l'eau brute) stockée dans le réservoir (1) est éjectée par la pompe (6) dans le microfiltre tangentiel (2) tenu par le module (3) ; le débit de la pompe est contrôlé par un régulateur (8), le manomètre (5) permet d'afficher la pression à l'entrée du microfiltre. Le retentât est renvoyé automatiquement dans le réservoir d'alimentation et le perméat (eau filtrée) est récupéré dans un erlen meyer pour analyse; le volume du filtrat est suivi en fonction du temps, pour enfin déterminer le flux du perméat connaissant la surface de la membrane.



Figure 3.13 : Montage de microfiltration

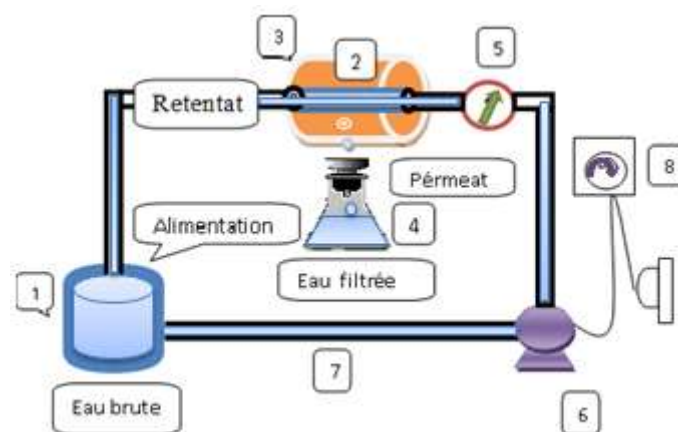


Figure 3.14 : Schéma du montage de microfiltration

- 1 : Réservoir 2 : Membrane (Microfiltre) 3 : Module (tubulaire)
 4 : Erlen meyer 5 : Manomètre 6 : Pompe 7 : Conduite
 8 : Régulateur de la pression d'opération

3. 4. Caractéristiques de la membrane

La membrane utilisée pour toutes nos expériences est présentée par la figure (3.15) suivante, c'est une membrane inorganique à base de Zircone (ZrO_2) :



Figure 3.15 : membrane de microfiltration utilisée dans notre travail

Tableau 3.1 : Caractéristiques de la membrane

Matière de la membrane	(ZrO ₂) inorganique (minérale)
Diamètre extérieur (D _{ext})	9 mm
Diamètre intérieur (D _{int})	6 mm
Epaisseur (e)	1.5 mm
Longueur (L)	190 mm
Surface (S)	4.47 6 .10 ⁻³ m ²
Diamètre des pores (dp)	-
Nombre des pores (np)	-
Porosité (E)	-
Perméabilité (Lp)	-
Sélectivité (T _R)	-
Seuil de coupure (SC)	-
Gamme du pH d'opération	1-14
Gamme du pH de lavage	1-14

3.5. Prélèvements

Il y a (03) points de prélèvements :

- eau brute (robinet au laboratoire de la station d'Ain Tinn alimenté par le bassin tampon) ;
- eau du concentrât (Retentât) au niveau du montage expérimental ;
- eau du filtrat au niveau du montage expérimental.

L'étude de la qualité de l'eau comporte trois étapes :

- l'échantillonnage.
- l'analyse.
- l'interprétation des résultats.

Pour les différents prélèvements, on utilise des flacons en verre stérilisés munis de bouchons rodés et protégés par un capuchon de papier ou d'aluminium.

Un volume de 25 L d'eau brute est prélevé au niveau de la station d'Ain Tinn, et est utilisé dans toutes nos expériences, et cela pour plusieurs fois.

Les autres prélèvements (d'eau filtrée et de l'eau recyclée) permettent le suivi de la variation des paramètres hydrodynamiques et d'analyses physico-chimique et microbiologique sont réalisés au niveau du montage de filtration tangentielle.

3.6. Paramètre étudiés

Il existe deux catégories de paramètres d'analyses d'eau dont :

La première comprend les paramètres d'analyse physicochimique, et la deuxième comprend les paramètres d'analyse microbiologique.

Cette dernière concerne la contamination de l'eau par des microorganismes (bactéries, virus protozoaires, etc.). Certains sont d'origine naturelle (sol, eau) qui sont sans danger pour l'homme et sont tolérés dans une certaine mesure. Ceux qui préviennent des matières fécales humaines et animales (épandages de purin, eau usée, etc.) peuvent provoquer des maladies graves.

L'eau qui en résulte du dispositif de filtration expérimental est soumis à un contrôle microbiologique et une analyse physicochimique.

3.6.1. Paramètres hydrodynamiques

Le fonctionnement hydraulique de la membrane est suivi par la mesure et l'enregistrement en continu de différents paramètres : le volume de filtration, le temps de filtration et le contrôle de la pression; ces valeurs sont utilisées pour le calculer les paramètres de fonctionnement suivant :

3.6.1.1. Flux de perméat

Le flux de perméat est défini par l'équation suivante :

$$J = \frac{V}{S \cdot t} \quad (3.1)$$

J : flux de perméat ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$),

V : volume du perméat mesuré à l'instant t (L),

S : surface de la membrane (m^2),

t : temps de filtration (h).

Ce paramètre rend compte de la capacité de la production d'eau filtrée par unité de surface membranaire. Plus le flux est élevé, plus la membrane est rentable en terme de production.

3.6.1.2. Perméabilité

La perméabilité de la membrane est donnée par la relation suivante:

$$L_p = \frac{J}{PTM} \quad (3.2)$$

L_p : perméabilité de la membrane ($L.m^{-2}.h^{-1}.bar^{-1}$),

PTM : Pression Transmembranaire (bar),

La perméabilité est un indice très utilisé pour caractériser les performances hydrauliques d'une membrane.

3.6.1.3. Résistance de la membrane

La résistance de la membrane est définie par l'équation suivante :

$$R_m = \frac{1}{\mu . L_p} = \frac{PTM}{\mu . J} \quad (3.3)$$

R_m : Résistance de la membrane (m^{-1}),

μ : viscosité de l'eau (pa.s).

La résistance hydraulique d'une membrane peut être définie comme étant sa résistance d'écoulement du fluide à travers cette membrane.

3.6.2. Paramètres physicochimiques et Matériel utilisé

Tableau 3.1 : Paramètres physico-chimiques à déterminer

Paramètres	Matériel utilisé
Température (T)	Thermomètre
Turbidité (Tu)	Turbidimètre
Matière en suspension (MES)	Rompe de filtration
Résidu Sec (Rs)	Etuve

3.6.3. Paramètres microbiologiques

3.6.3.1. Recherche et dénombrement des microorganismes revivifiables à 22 et à 37°C

- **But**

Cette méthode consiste à la recherche et le dénombrement des microorganismes dans l'eau filtrée (filtrat) et d'eau brute, ainsi que dans l'eau recyclée (concentrat) par comptage des colonies à 22° et à 37 °C

- **Préparation des dilutions**

La préparation des dilutions décimales est faite selon la méthode décrite par JOFFIN en 1999 ; à l'aide d'une pipete graduée de 10 ml, on transfère 9 ml d'eau physiologique stérile dans chacune des trois tubes (03) à vis stérile ; 1 ml de la solution mère (l'eau de source) est prélevé par une pipete stérile est introduit dans un tube à vis contenant l'eau physiologique stérile, il représente la dilution 10^{-1} ; nous procédons la même manière jusqu'à l'obtention de la dilution 10^{-2} .

- **Mode opératoire**

A partir de l'eau à analyser et/ou des dilutions décimales 10^{-1} et 10^{-2} , on porte aseptiquement 1 ml en double dans deux boîtes de pétri vides numérotées et préparées à cet usage comme l'indique le schéma ci-après. On complète ensuite avec environ 19 ml de gélose PCA ou TGEA fondue puis refroidie à $45 (\pm 2^\circ\text{C})$. Le temps qui s'écoule entre le moment où l'on a distribué l'inoculation dans la boîte et celui où le milieu est coulé ne doit pas excéder 15 minutes.

On fait ensuite des mouvements circulaires et de va-et-vient en nombre de 8 pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose, sur une surface fraîche et horizontale.

On laisse solidifier les boîtes sur pailleuse puis on rajoute une deuxième couche d'environ 5ml de la même gélose ou de gélose blanche. Cette double couche a un rôle protecteur contre les contaminations externes diverses.

Les boîtes seront partagées en deux séries distinctes :

- ✓ La première série sera incubée à $22 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 68 ± 4 h.
- ✓ La seconde série sera incubée à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 44 ± 4 h.

- **Lecture et interprétation**

Les colonies de microorganismes revivifiables apparaissent en masse sous formes lenticulaires et bien distinctes. On retient les boîtes contenant moins de 300 colonies, au niveau de deux dilutions successives, il faut qu'une boîte renferme au moins 15 colonies.

On calcule ensuite la valeur du nombre **N** de microorganismes revivifiables à $22 \pm 2^\circ\text{C}$ à part et celle du nombre **N** de microorganismes revivifiables à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ à part, en tant que moyenne pondérée, à l'aide de l'équation suivante :

$$N = \frac{\sum C}{1.1 \cdot d} \quad (3.4)$$

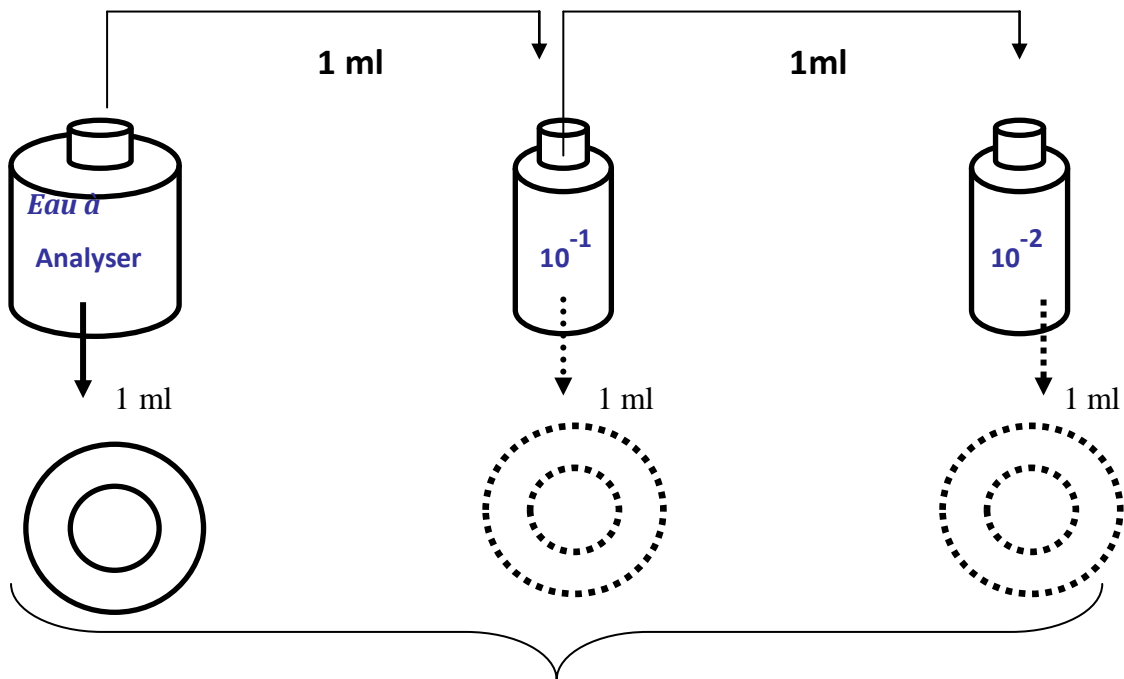
Où :

Σc : est la somme des colonies dénombrées sur deux boîtes de dilutions successives retenues.

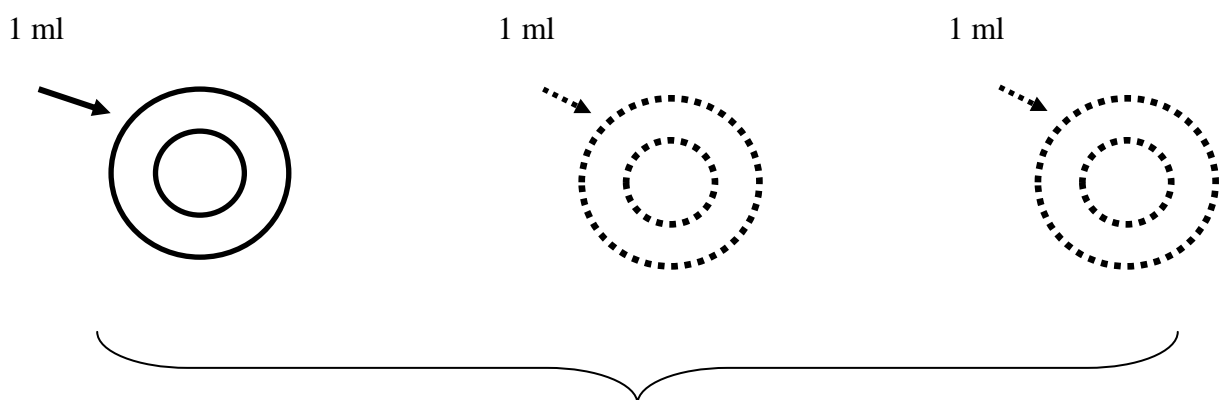
d : est le taux de dilution (correspondant à la première dilution).

Arrondir les résultats calculés à deux chiffres significatifs après la virgule.

Le résultat final de microorganismes revivifiables dénombrés à 22°C et à 37°C par ml d'eau est noté par un nombre compris entre 1,0 et 9,9 multiplié par 10^x où x est la puissance appropriée de 10.



Ajouter environ 19 ml de gélose TGEA ou PCA, laisser solidifier sur pailleuse puis incuber à :
 $22 \pm 2^\circ\text{C}$, 68 ± 4 heures



Ajouter environ 19 ml de gélose TGEA ou PCA, laisser solidifier sur pailleuse puis incuber
à : $36 \pm 2^\circ\text{C}$, 44 ± 4 heures

Dénombrer les colonies lenticulaires ayant poussées en masse dans chacune des boîtes, puis calculer la valeur de N à 22°C puis celle de N à 37°C.

Figure 3.16 : Arborescence de la Recherche des germes aérobies dans l'eau

—————	Obligatoire
.....	Facultatif

3.6.3.2. Recherche et dénombrement des coliformes, coliforme thermo tolérants et Escherichia Coli en milieu liquide

- **but**

Cette méthode de routine consiste en la recherche et le dénombrement des bactéries coliformes, coliforme thermo tolérants et Escherichia Coli dans les eaux destinées à la consommation humaine, en milieu liquide par la technique du nombre le plus probable (NPP).

- **Mode opératoire**

La recherche et le dénombrement des bactéries coliformes, coliformes thermo tolérants et des Escherichia Coli dans les eaux en milieu liquide par la technique du NPP se fait en deux étapes consécutives :

- le test de présentatif : réservé à la recherche des coliformes ;
- le test de confirmation : réservé à la recherche des coliformes thermo tolérants et Escherichia coli.

- **Test présomptif**

Le milieu BCPL avec cloche est utilisé en simple et en double concentration l'ensemencement se fait comme suit :

- 2 tubes de milieu BCPL à double concentration avec 10ml d'eau à analyser.
- 2 tubes de milieu BCPL à simple concentration avec 1ml d'eau à analyser.
- 2 tubes de milieu BCPL à simple concentration avec 0,1ml d'eau à analyser.

Après inoculation, agiter pour homogénéiser sans faire pénétrer d'air dans la Cloche de Durham et placer les tube dans une étuve à 37°C pendent 24h.

- **Lecture**

Seront considérés comme positifs, les tubes présentant à la fois :

- un dégagement de gaz (supérieur à 1/10 de la hauteur de la cloche).
- un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (ce qui constitue le témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu)

Ces deux caractères étant témoins de la fermentation du lactose dans les conditions opératoires décrites.

- **Test confirmatif**

Le test de confirmation basé sur la recherche de coliforme thermo tolérants, parmi les quels on redoute surtout la présence d'Escherichia coli.

Les coliformes thermo tolérants ont les mêmes propriétés de fermentation que les coliformes à 44°C.

Escherichia coli est un coliforme thermo tolérant qui entre autre :

- produit de l'indole à partir du tryptophane présent dans le milieu à 44° C
- donne le résultat positif à l'essai au rouge de méthyle,
- ne produit pas de l'acétyle carbinol.
- n'utilise pas le citrate comme source unique de carbone.

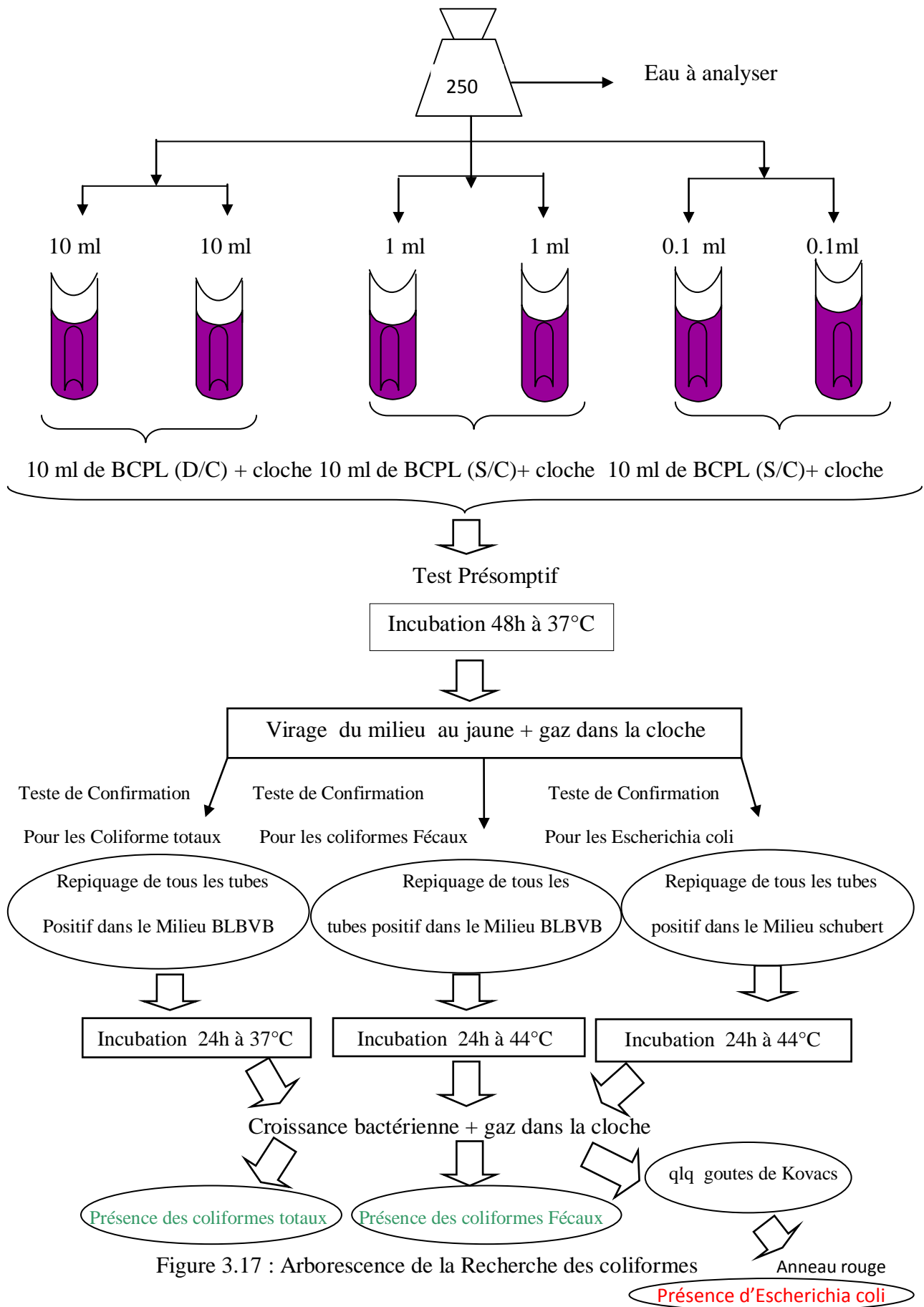
Les tubes de BCBL trouvés positifs lors du dénombrement des coliformes feront l'objet d'un repiquage à l'aide d'une anse bouclée dans le tube contenant le milieu Schubert muni d'une cloche de durham.

- **Lecture**

Seront considérés comme positifs les tubes présentant à la fois :

- un dégagement gazeux.
- un anneau rouge en surface, témoin de la production d'indole par Escherichia Coli après adjonction de 2 à 3 goûtes du réactif de Kowacs.

La lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table du NPP en tenant compte du fait que Escherichia Coli est à la fois producteur de gaz et d'indole à 44°C.



3.6.3. 3. Recherche et dénombrement des Streptocoques

- **But**

Les streptocoques fécaux sont considérés comme indicateurs d'une contamination fécale l'eau, leur recherche nous renseigne sur la qualité hygiénique.

- **Mode opératoire**
- **Test présomptif**

On ensemence :

- 2 tubes du milieu ROTHE à double concentration avec 10 ml d'eau à analyser.
- 2 tubes du milieu ROTHE à simple concentration avec 1 ml d'eau à analyser.
- 2 tubes du milieu ROTHE à simple concentration avec 0,1 ml d'eau à analyser.

Les tubes sont incubés à 37°C pendant 24h à 48h

- **Lecture**

S'il y a un trouble microbien et une pellicule blanche ; c'est-à-dire que le test est positif.

- **Test de confirmation**

Agiter les milieux de Rothe positifs (couche microbienne)

Reporter une anse du contenu des tubes de Rothe positifs dans un tube du milieu de Litsky.

Incuber les tubes à 37°C pendant 24h à 48h.

- **Lecture**

Les tubes présentant un trouble homogène et une pastille violette ou blanche (non constante) au fond contiennent au moins un streptocoque fécal.

Il est vivement souhaitable d'identifier les streptocoques fécaux obtenus après leur isolement sur un milieu approprié : gélose BEA (Bile Esculine A).

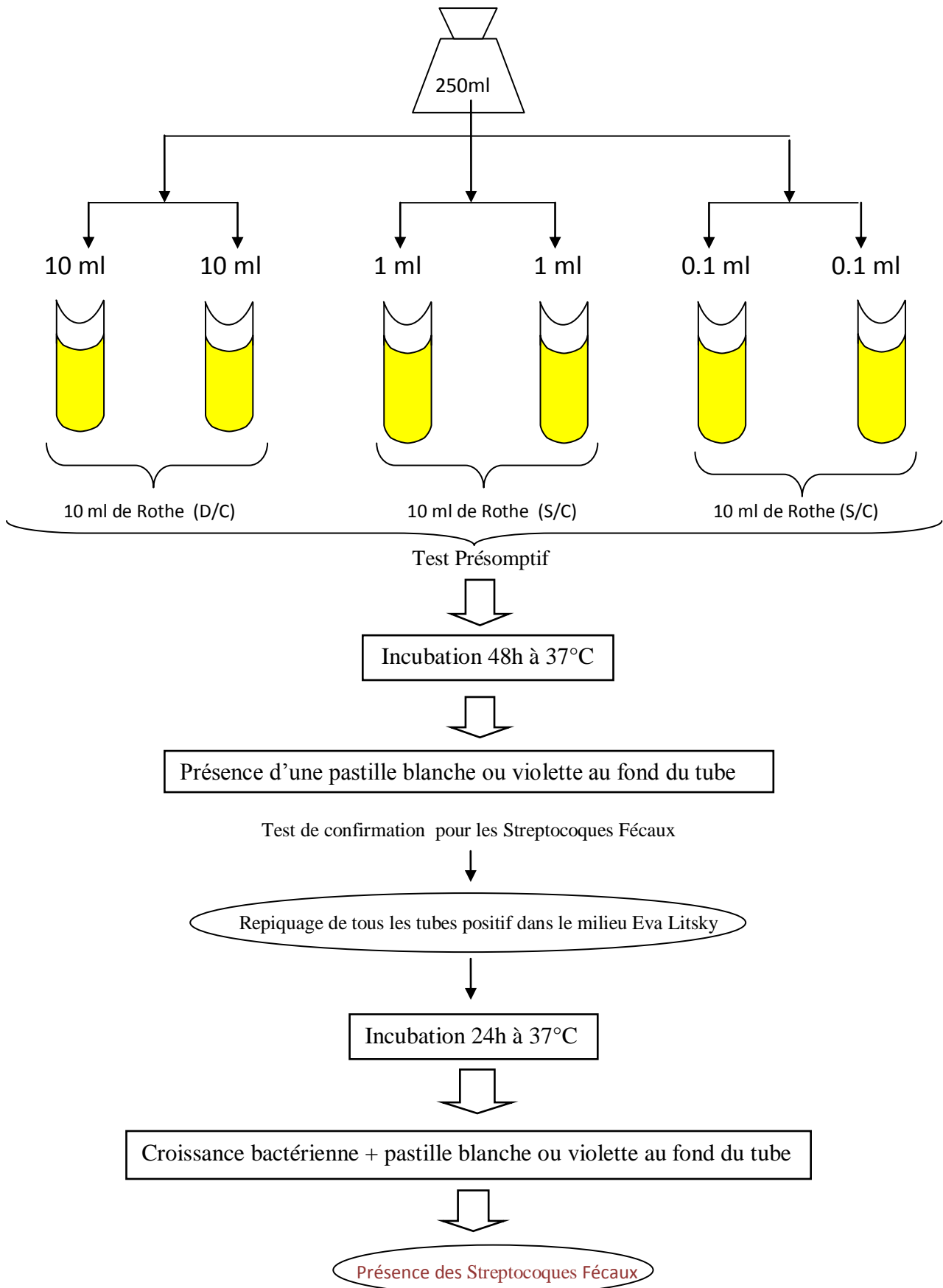


Figure 3.18 : Arborescence de la Recherche des streptocoques

3.6.3.4. Recherche et dénombrement des spores de bactérie anaérobies sulfito-réductrices et de clostridium sulfito-réducteurs. Méthode par incorporation en gélose en tubes profonds

- **But**

Cette méthode consiste en la recherche et le dénombrement des spores des bactéries anaérobies sulfito-réductrices et de Clostridium sulfito-réducteurs dans les eaux destinées à la consommation humaine, par incorporation en gélose en tubes profonds.

Mode opératoire

A partir de l'eau à analyser :

- Transférer environ 20 ml d'eau à analyser dans un tube stérile qui sera par la suite soumis à un chauffage de l'ordre de 75°C pendant 15 minutes dans le but de détruire toutes les formes végétatives des bactéries anaérobies sulfito-réductrices éventuellement présentes. Un autre flacon rempli d'une autre eau servira de témoin de température.
- Après chauffage, refroidir immédiatement le flacon destiné à l'analyse sous l'eau de robinet.
- Répartir ensuite le contenu de ce tube, dans 5 tubes différents et stériles à raison de 5ml par tube.
- Ajouter environ 18 à 20 ml de gélose viande foie, fondue puis refroidie à $47 \pm 1^\circ \text{C}$, additionnée de leurs additifs spécifiques.
- Mélanger doucement le milieu et l'inoculum en évitant d'introduire des bulles d'air et de l'oxygène.
- laisser solidifier sur paillasse pendant 30 minutes environ, puis incubé à $36 \pm 2^\circ \text{C}$ pendant 44 ± 1 heures.

- **Lecture**

Le tube positif contient des colonies noires entourées d'un halo noir, ce sont donc des colonies de clostridium sulfito-reducteurs.

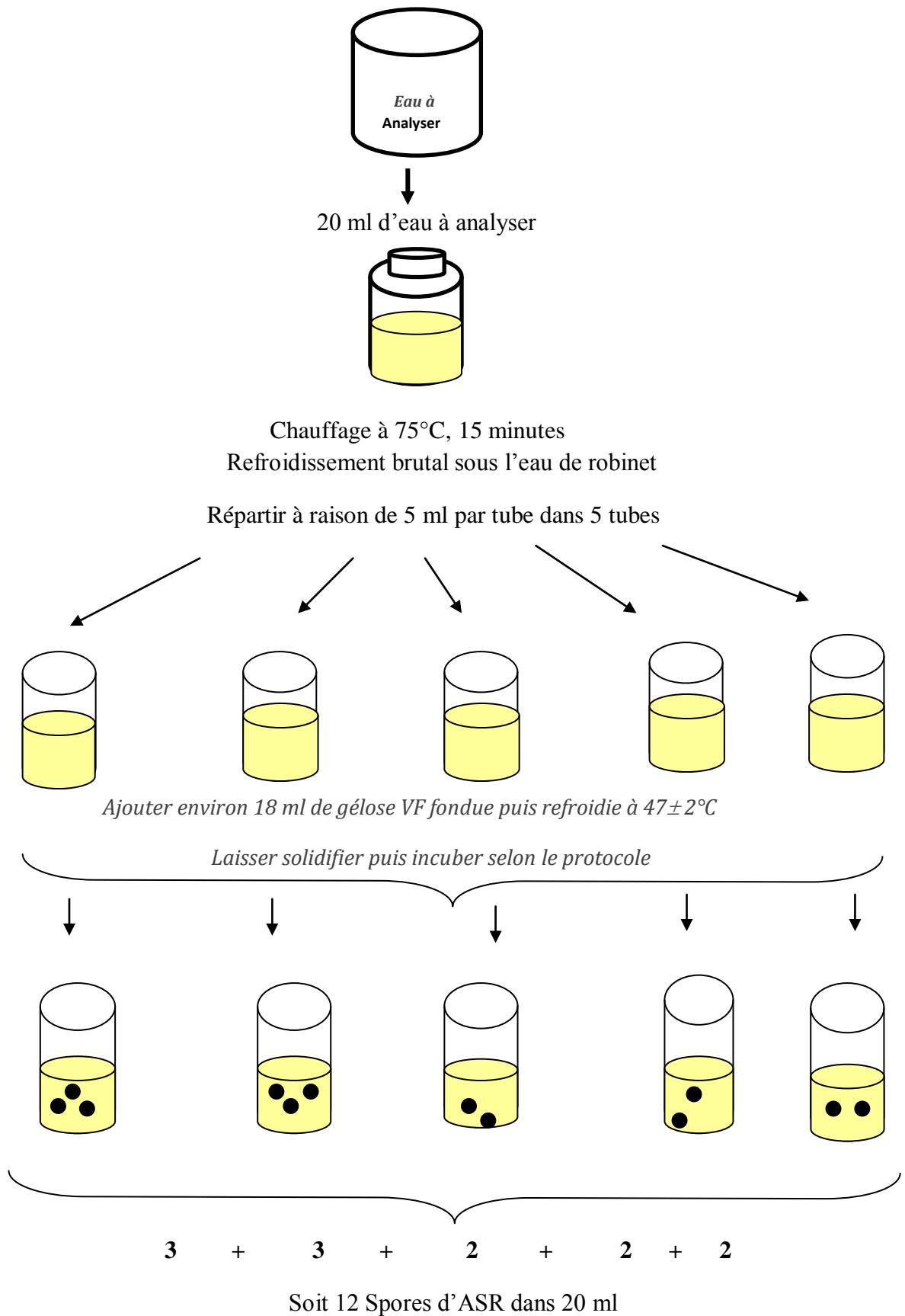


Figure 3.19 : Arborescence de la Recherche des clostridium sulfito-réductrices

Chapitre IV

Résultats et discussions

CHAPITRE IV

Résultats et discussions

4.1. Introduction

Cette partie englobe tous les résultats expérimentaux, obtenus suite aux essais réalisés sur le pilote de microfiltration, qui sont divisés en 03 parties (hydrodynamique, physicochimique et microbiologique), il est à signaler que notre objectif été d'étudier la possibilité de faire introduire un procédé membranaire dans la chaîne de traitement d'eau potable qui est la microfiltration.

4.2. Etude Hydrodynamique

Le suivi du flux de perméat en fonction du temps de l'eau pure est d'une grande importance, il permet de vérifier la qualité de la membrane lorsqu'elle est colmatée ou détériorée, car avant et après chaque manipulation (filtration d'une solution réelle) on procède à la filtration d'eau pure ; si on obtient le même flux pour un temps bien déterminé la membrane est propre ; par contre si la quantité du flux diminue considérablement, la membrane est colmatée sinon dans le cas contraire la membrane est détériorée. Le flux du perméat d'une solution à traiter permet de déterminer la résistance totale au transfert lorsque la pression transmembranaire (PTM) varie.

4.2.1. Modèle des résistances en série

La figure 4.1.4 (a) présente la variation du flux de l'eau pure en fonction de la pression transmembranaire. Ces résultats montrent que le flux de l'eau augmente avec la pression, conformément à la loi de Darcy [31] suivante:

$$J = \frac{\Delta P}{\mu R_m} \quad (4.1)$$

J : Flux de perméat (de l'eau pure)

ΔP : Pression transmembranaire

μ : viscosité dynamique du liquide

R_m : Résistance hydraulique de la membrane.

Cette variation est presque linéaire, d'où la résistance de la membrane peut être déterminée graphiquement, la pente de la droite est égale à :

$$\frac{1}{\mu R_m} \quad (4.2)$$

La perméabilité de la membrane L_p est l'inverse de la résistance.

Dans la microfiltration, la condition à la limite exprimant l'égalité entre le flux convectif et le flux diffusif est fonction du flux de perméat, ce dernier peut être calculé par le modèle des résistances en série [32]:

$$J = \frac{\Delta P}{\mu(R_m + R_c + R_p)} = \frac{\Delta P}{\mu R_T} \quad (4.3)$$

Avec :

$$R_T = R_m + R_c + R_p \quad (4.4)$$

Où :

R_T : résistance totale (m^{-1}),

R_m : résistance hydraulique de la membrane (m^{-1}),

R_c : résistance de colmatage (m^{-1}),

R_p : résistance de polarisation (m^{-1}),

μ : viscosité dynamique de la solution (Pa.s).

4.2.2. Variation du flux de perméat en fonction du temps

La figure (4.1.1) ((a), (b) et (c)) présente l'évolution du flux de perméat en fonction du temps de l'eau pure et de l'eau brute. D'après les graphes (a) et (b), on constate que la quantité des flux de perméat pour l'eau distillée et l'eau brute n'est pas du même ordre (voir graphe (c)), elle est plus importante dans le premier cas, ce qui est normal car les particules en suspension et les bactéries, contenues dans l'eau brute, peuvent bloquer les pores de la membrane de microfiltration, causant ainsi une diminution de la quantité de l'eau qui traverse la membrane, dans le graphe (a), on a obtenu une droite parallèle à l'axe des abscisses ce qui explique que le flux d'eau est constant au cours du temps ; par contre dans le graphe (b), le flux de perméat diminue rapidement pendant les 10 premières minutes et ensuite il devient constant, montrant ainsi qu'il y a une certaine quantité du soluté qui s'est déposé à la surface de la membrane ; la pression transmembranaire (PTM) est fixée à 0,4 bar.

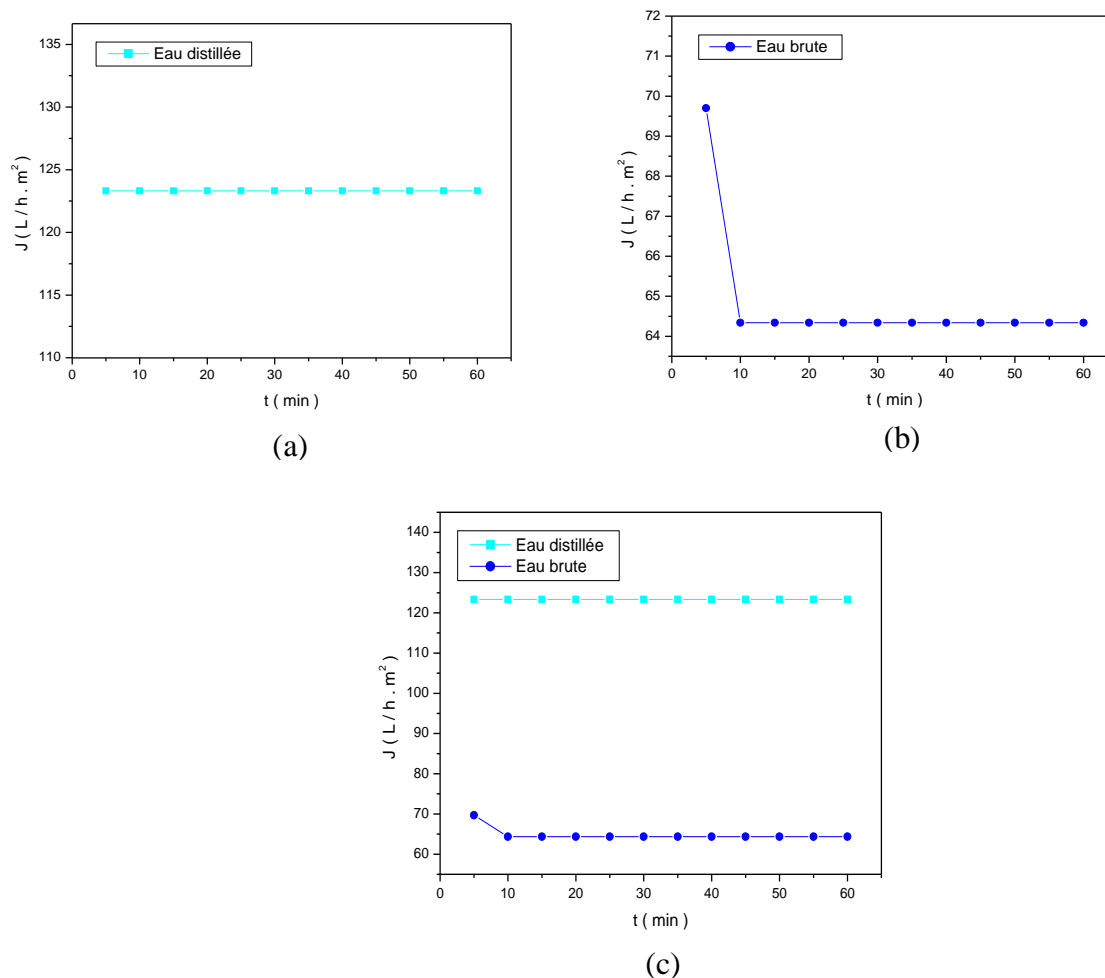


Figure 4.1.1 : Variation du flux de perméat en fonction temps de filtration

Pour une PTM = 0,4 bar $J = f(t)$

La perméabilité est un paramètre intrinsèque de la membrane décrivant sa résistance hydraulique R_m vis à vis du solvant ; elle est obtenue par la variation du flux du perméat en fonction de la pression transmembranaire (PTM) ; la figure (4.1.2) est une présentation graphique de l'évolution de la perméabilité en fonction du temps pour les solutions d'eau pure et d'eau brute.

Il est à signaler que d'après le graphe de la figure (4.1.2), la perméabilité de la membrane est constante en fonction du temps pour une solution d'eau pure (a) ; elle diminue durant les dix premières minutes puis elle devient inchangée pour une solution d'eau brute (b), expliquant ainsi ce qui a été observé pour les flux de perméat; une comparaison entre les deux perméabilités (d'eau pure et d'eau brute) a été présentée dans le graphe (c), montrant qu'elle possède des valeurs importantes dans le cas de l'eau pure.

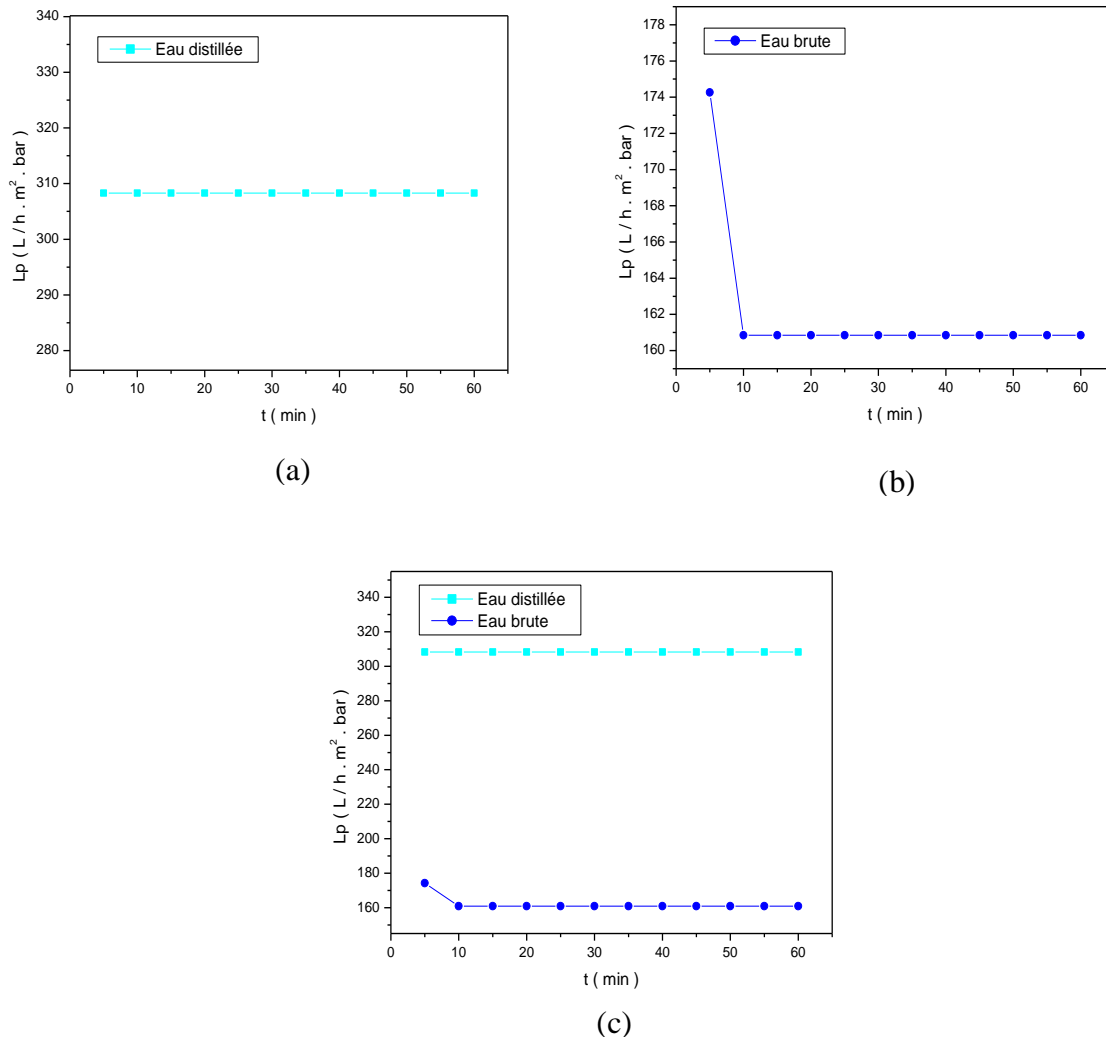


Figure 4.1.2 : Variation de la perméabilité en fonction du temps de filtration

Pour une $PTM = 0,4 \text{ bar}$ $L_p = f(t)$

La figure (4.1.3) représente la résistance de la membrane (eau distillée) et la résistance totale (d'eau brute), dans le graphe (a) la résistance est due à la membrane seule à cause d'absence de matières en suspension, puisqu'on utilise de l'eau pure (eau distillée). La résistance totale (résistance de la membrane plus la résistance de polarisation) présentée sur le graphe (b), la courbe montre que cette résistance augmente d'une manière remarquable avec le temps durant une période de 10 minutes, après ce temps elle devient constante, cela traduit qu'une certaines substances initialement présentes dans l'eau brute ont été arrêtées par la membrane de microfiltration.

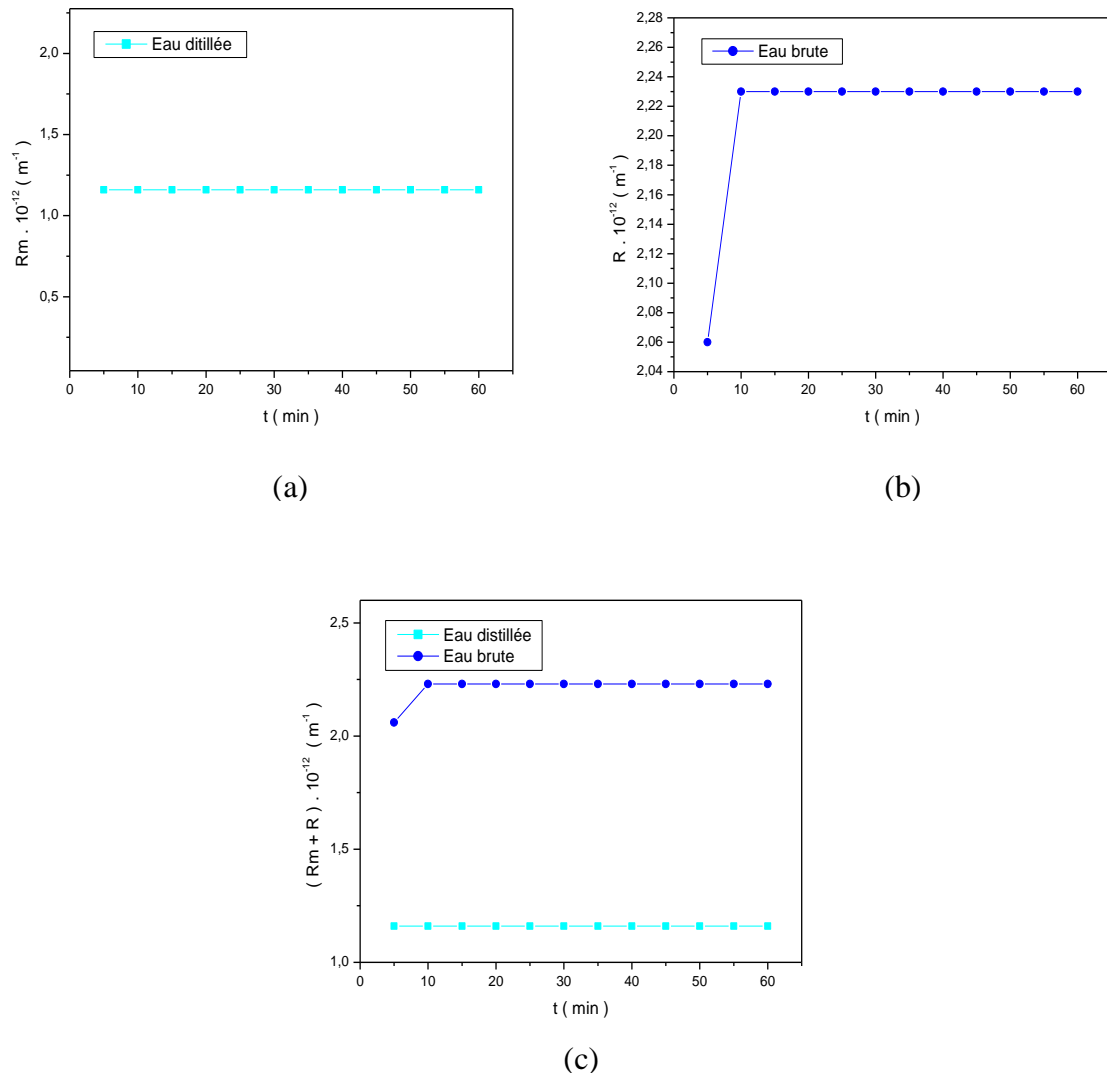


Figure 4.1.3 : Variation des Résistances en fonction du temps de filtration

Pour une PTM = 0,4 bar $R = f(t)$

4.2.3. Variation du flux de perméat en fonction de la pression transmembranaire (PTM)

Dans ce cas, le temps de filtration a été fixé à 10 minutes, on s'intéresse au suivi du flux de perméation en fonction de la variation de la pression transmembranaire (PTM) (de 0,4 à 1 bar) ; la figure (4.1.4) comprenant les trois graphes (a), (b) et (c) montre que le flux du perméat augmente avec l'augmentation de la pression transmembranaire.

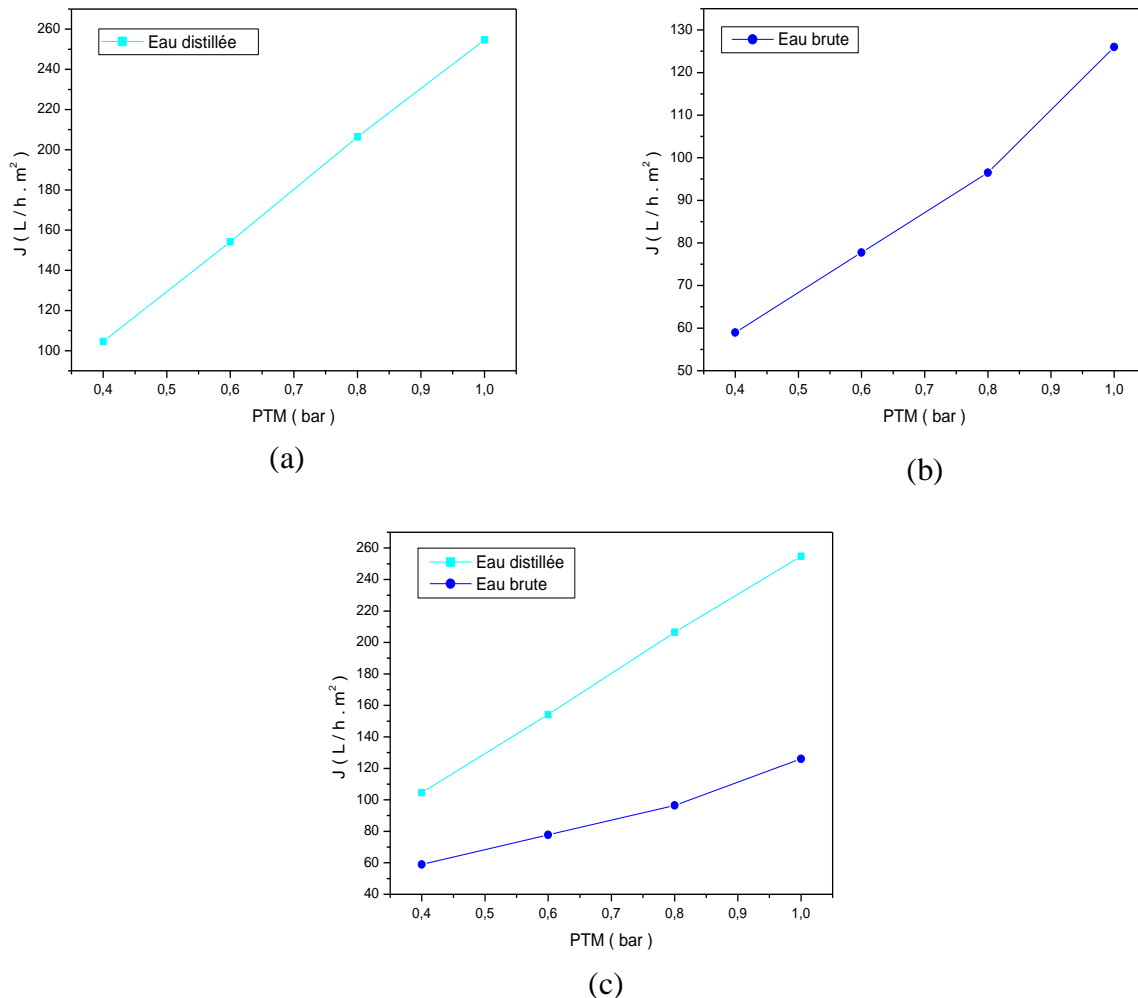


Figure 4.1.4 : Variation du flux de perméat en fonction de pression transmembranaire

$$J = f(\text{PTM})$$

Dans le graphe (a), pour l'eau distillée (solvant pur), on a obtenu une droite linéaire avec une pente importante, cela signifie la régularité de la membrane, l'absence de déformation ou défaut de cette dernière, ainsi l'absence des phénomènes de colmatage pendant la filtration se qui rend le flux maximum confirmant ainsi la loi de Darcy; par contre dans le cas de l'eau brute (eau + impuretés) représenté par le graphe (b) qui est sous forme presque d'une droite, cela signifie qu'il ya un certain dépôt à la surface de la membrane (adsorption sur site, dépôts de matière à la surface, bouchage des pores, ou formation de biofilm), mais le blocage total des pores n'est pas encore atteint [33]. Le graphe (c) montre la différence des valeurs obtenues des flux de perméat dans les deux cas, eau distillée et eau brute, les flux sont plus importants dans le premier cas.

La variation de la perméabilité de la membrane en fonction de la pression transmembranaire est présentée par la figure (4.1.5) suivante.

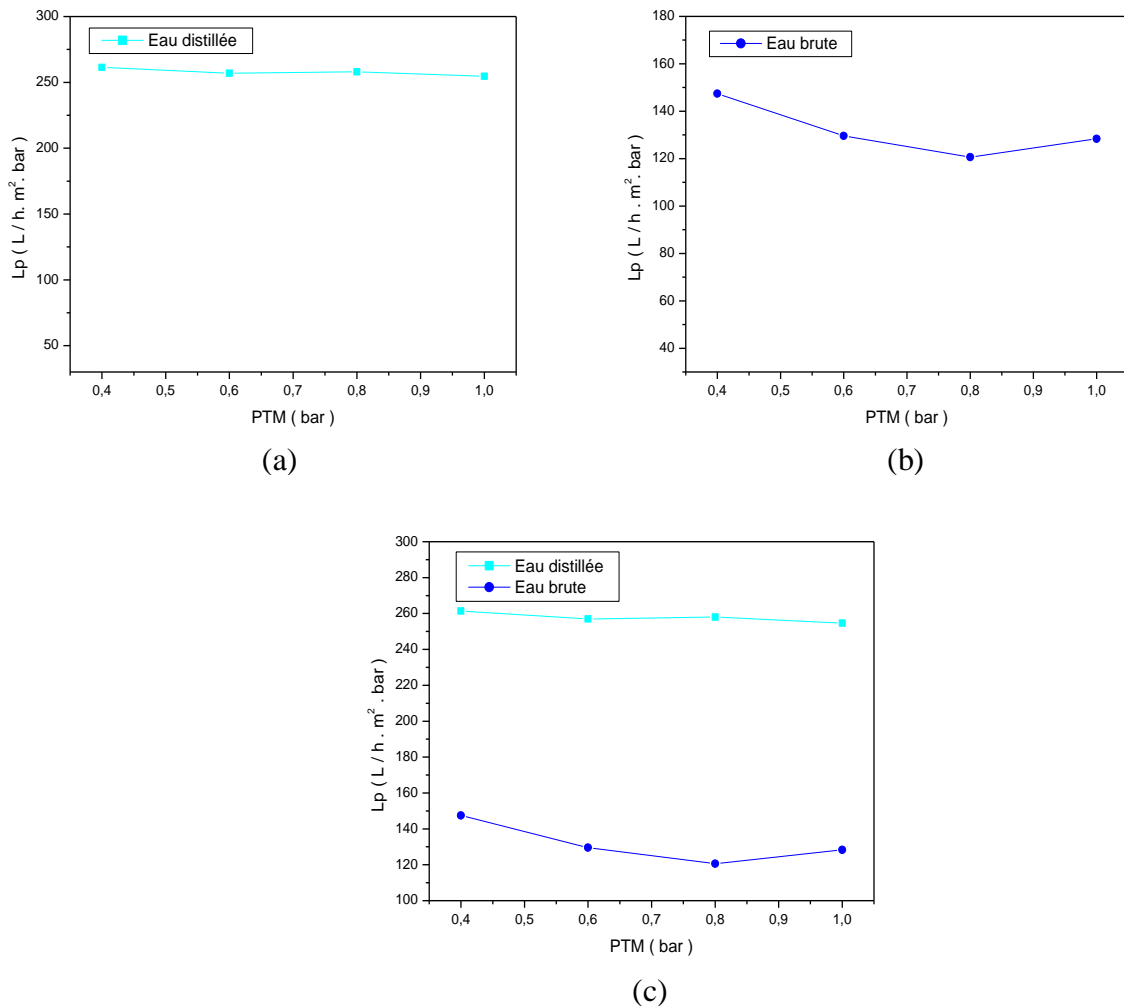


Figure 4.1.5 : Variation de la perméabilité en fonction de la pression transmembranaire

$$L_p = f(\text{PTM})$$

Selon la figure (4.1.5), on constate dans le graphe (a) que la perméabilité est presque constante lorsque la pression transmembranaire augmente et cela pour l'eau distillée, une droite avec une pente presque nulle qui montre la stabilité de la perméabilité avec l'augmentation de la pression, cela est peut être dû à l'absence des matières polluantes dans l'eau distillée; différemment à ce qui a été observé au graphe (b) (eau brute), on obtient une courbe décroissante qui traduit la pollution de l'eau par les matières colloïdales et organiques qui se déposent dans les pores du microfiltre ; en synthèse le graphe (c) montre bien cette différence expliquant la rétention de la membrane de quelques polluants d'eau brute.

La variation de la résistance au transfert de matière en fonction de la pression transmembranaire est présentée dans la figure (4.1.6).

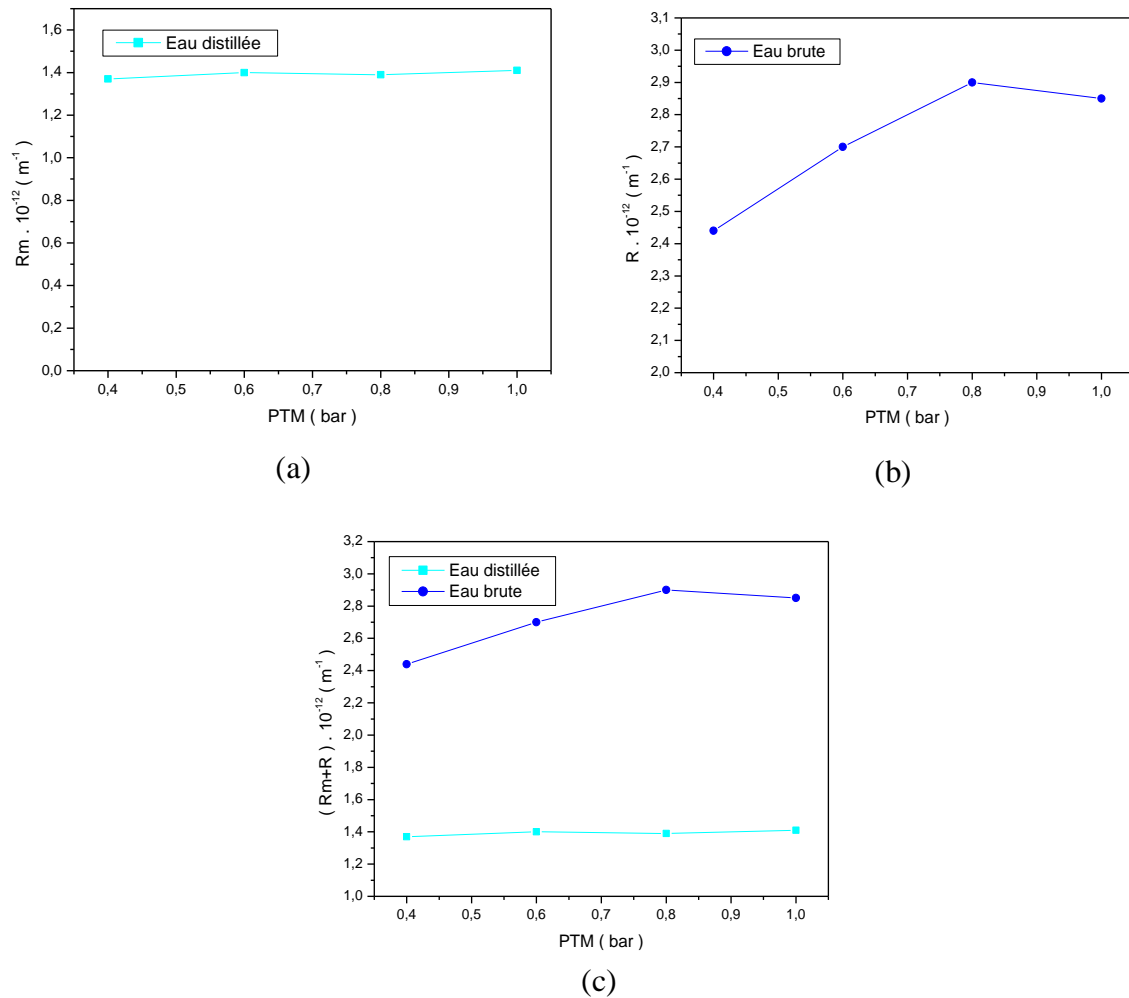


Figure 4.1.6 : Variation des Résistances en fonction de la pression transmembranaire

$$R = f(\text{PTM})$$

D'après la figure (4.1.6) on constate dans le graphe (a) que la résistance est constante, elle est de l'ordre de $1.4 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-1}$ c'est la résistance de la membrane (R_m) (cas de l'eau distillée), en utilisant l'eau brute (graphe (b)) on constate que la résistance au transfert de matière sera de plus en plus importante, ce qui explique qu'il y a une certaine couche qui se dépose à la surface de la membrane ou à l'intérieur des pores de cette dernière, la résistance totale est plus importante pour une pression transmembranaire de 0.8 bar.

D'après ce qui a été obtenu, il est préférable de travailler à une pression de 1 bar donnant ainsi un meilleur flux de perméat et une résistance au transfert qui n'est pas assez importante.

4.3. Etude physicochimique

Les échantillons d'eau sont prélevés à différentes parties du montage expérimental, à savoir le réservoir (eau brute d'alimentation), le rétentat (concentrat), et le collecteur d'eau (eau filtrée). Durant la filtration, il a été constaté les remarques suivantes :

- Après plusieurs essais, l'odeur indésirable de l'eau brute et du concentrât a été disparue dans l'eau filtrée ;
- Une très bonne clarification de l'eau filtrée par la microfiltration de l'eau brute (alimentation) pour une période de 50 minutes de filtration comme il a été montré dans la figure (4.2.1 (a) et (b)).

Dans cette partie, on a procédé à la détermination des Matières en Suspension (MES), des résidus secs et le suivi de la turbidité en fonction du temps et cela pour l'eau brute, l'eau filtrée et pour le concentrât.

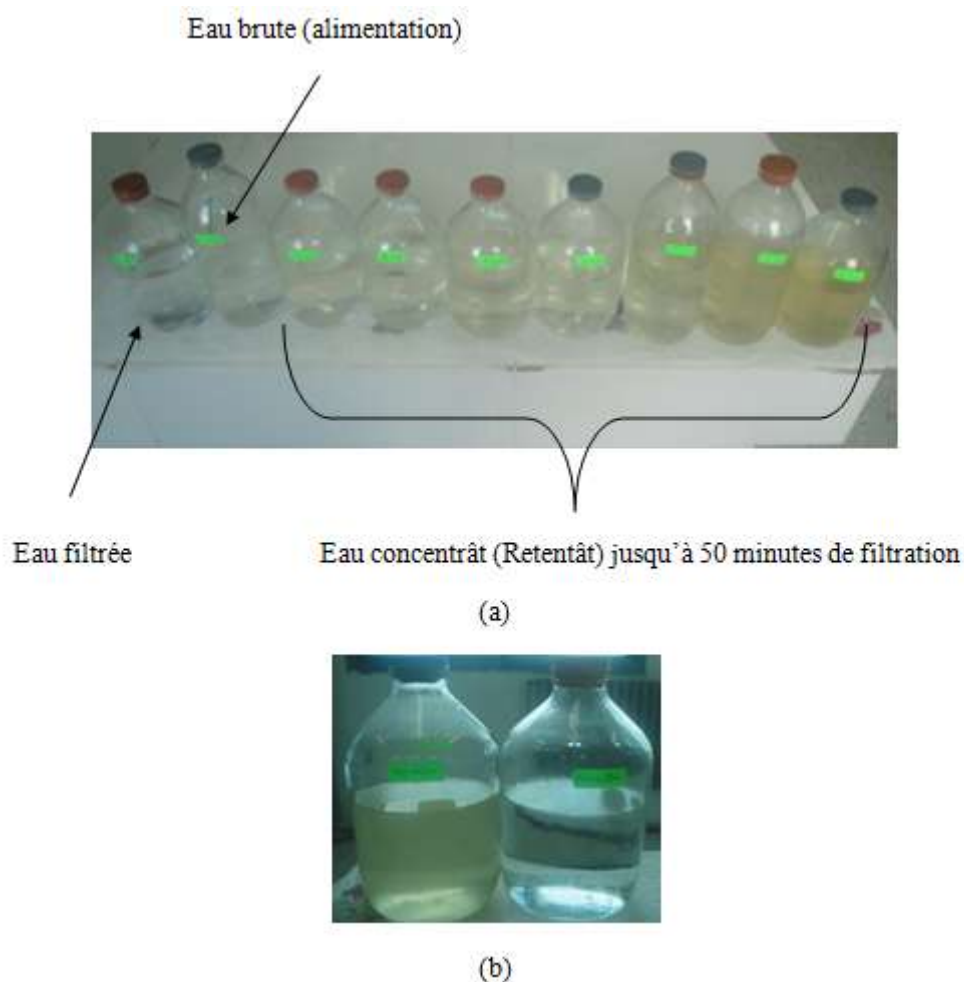


Figure 4.2.1 : Variation de la couleur en fonction du temps

4.3.1. Détermination des MES

On a étudié la variation du dépôt sur la surface du microfiltre (du montage expérimental) en utilisant une rompe de filtration avec des microfiltres (MILLIPORE) dont le diamètre du pore est $d = 0.45 \mu\text{m}$, on a mesuré la matière en suspension (MES) retenue avant la filtration (eau brute), pendant la filtration (concentrât à 5, 10, 15, 20, 30, 40 et 50 min) et après filtration (eau filtrée) par la membrane de microfiltration de notre montage expérimental.

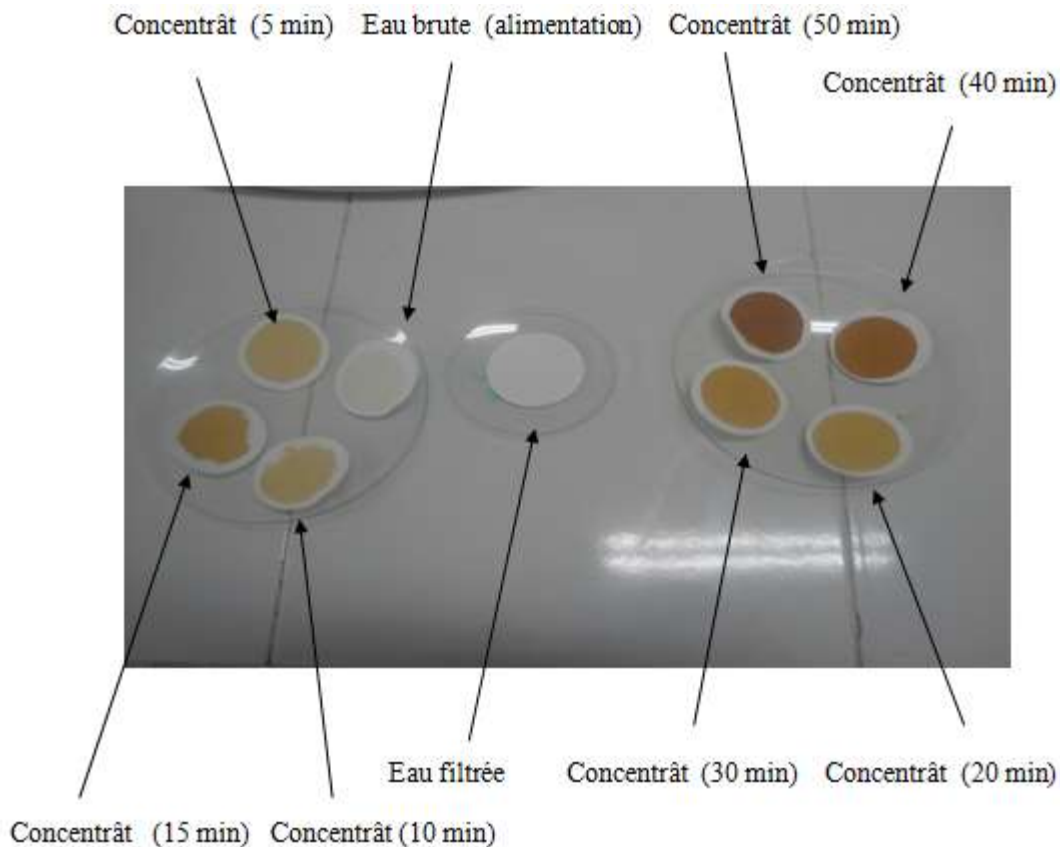


Figure 4.2.2 : Variation du dépôt et de couleur de Matières En Suspension retenues par la rompe de filtration en fonction du temps de filtration

D'après la figure 4.2.2, on remarque que pour l'eau filtrée la quantité retenue des MES est presque nulle ce qui explique la couleur blanche obtenue, parcontre dans le cas de l'eau brute la couleur obtenue est le blanc cassé traduisant l'existence d'une certaine quantité de MES ; alors que pour le concentrât la couleur obtenue est le marron montrant une accumulation des MES, donc la membrane peut retenir les MES initialement présentes dans l'eau brute.

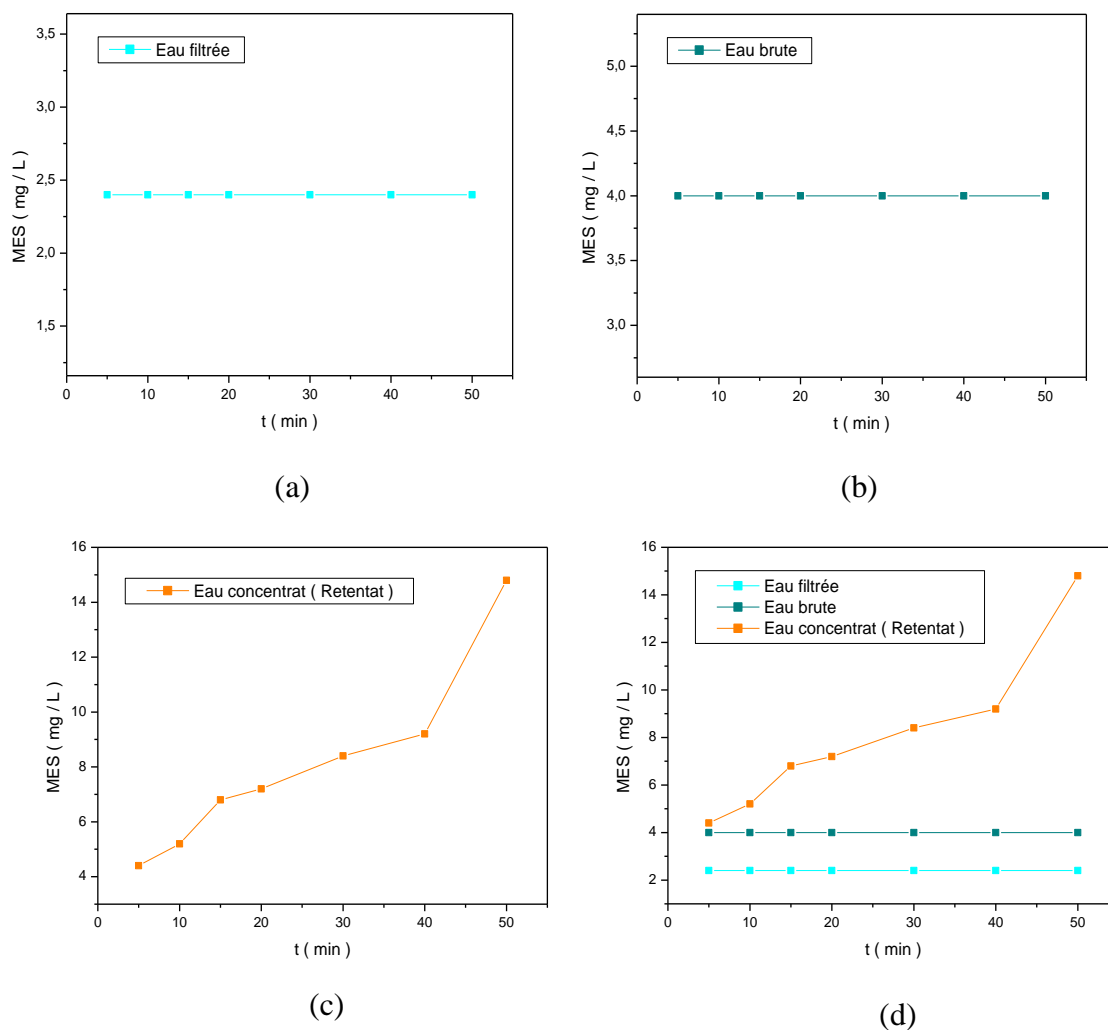


Figure 4.2.3 : Variation des MES en fonction du temps de filtration $MES = f(t)$

Les quantités déterminées des MES en fonction du temps (figure 4.2.3) montrent que les MES ont une valeur constante de 2,4 mg/L qui est inférieure à 4 mg/L (quantité des MES de l'eau brute) ce qui explique les couleurs blanc (du filtrat) et blanc cassé (de l'eau brute), par contre les MES augmentent en fonction du temps jusqu'à 14 mg/L au bout de 50 minutes pour le concentrat (couleur marron dans la figure 4.2.2), le membrane de microfiltration retient une partie des matières en suspension.

4.3.2. Détermination des résidus secs

Cet indicateur exprime le taux de minéraux recueillis après évaporation de 250 ml d'eau soumis à 105 °C.



(a)



(b)

Figure 4.2.4 : Variation des dépôts du résidu sec en fonction du temps de filtration

La figure (4.2.4) permet l'observation de variation des dépôts du résidu sec avant et après séchage (a) et (b) respectivement, on obtient une nette variation de concentration (poids du résidu sec) et une légère variation de couleur du blanc au blanc cassé.

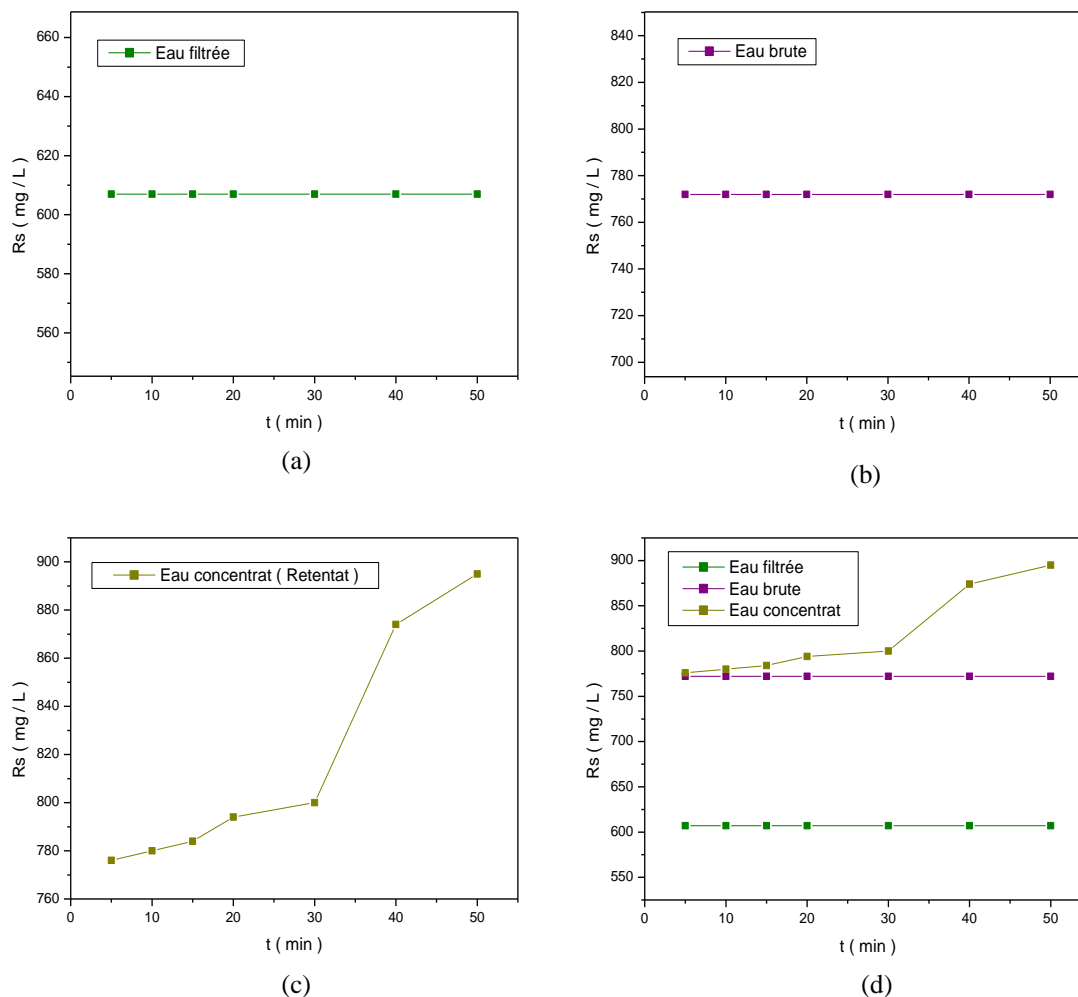


Figure 4.2.5 : Variation du Résidu sec en fonction du temps de filtration $R_s = f(t)$

D'après la figure (4.2.5) on obtient une droite dans le graphe (a) qui montre une quantité constante du résidu sec dans l'eau filtrée qui ne varie pas avec le temps de filtration ce explique qu'il existe toujours un dépôt de résidu sec après la microfiltration, on obtient également une quantité constante des résidus secs dans le cas de l'eau brute (graphe (b)) mais d'une quantité un peu plus importante que le premier cas, alors que pour le concentrât on constate une augmentation des résidus secs de 775 mg/L jusqu'à 900 mg/L et cela pour un temps de 50 minutes.

4.3.3. Suivi de la turbidité

Les échantillons d'eau qui sont prélevés dans divers endroit nous ont permit d'obtenir les résultats que nous avons classé par la figure (4.2.6) ci-dessous :

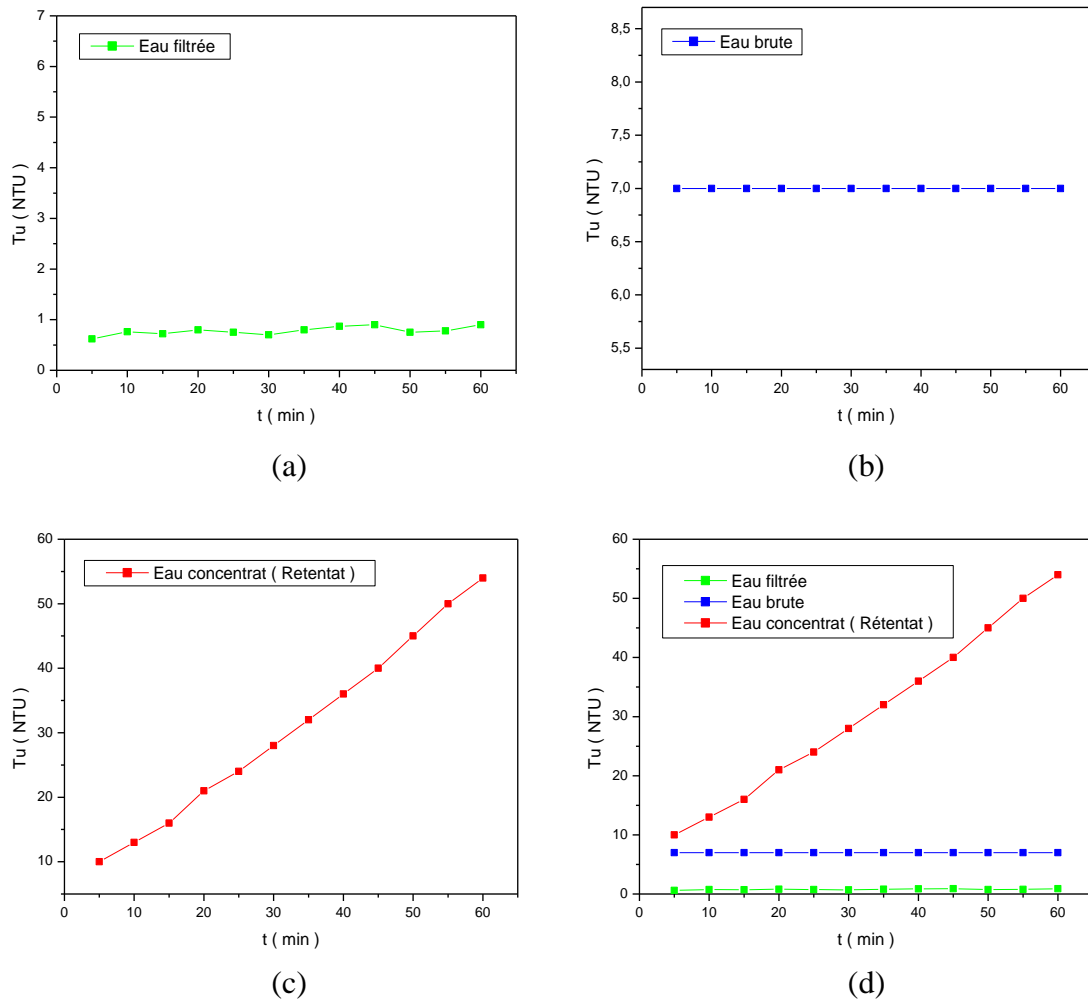


Figure 4.2.6 : Variation de la turbidité en fonction du temps de filtration $Tu = f(t)$

D'après la figure 4.2.6, on constate que pour le graphe (a) (l'eau filtrée) et pour un temps étalé jusqu'à 60 min, on obtient une eau filtrée répondant aux normes des eaux potables. (Turbidité inférieure ou égale à 1 NTU). Alors que pour le graphe (b) (eau brute) et durant un temps de filtration toujours de 60 min, on constate que la turbidité est égale à une valeur constante de 7 NTU supérieur aux normes. Tandis que pour le rétentât (c) on obtient une turbidité qui augmente avec le temps de 10 à 55 NTU. On peut dire que la microfiltration peut rendre une eau potable, reste à confirmer avec l'étude microbiologique.

4.3.4. Taux de Rétention

Le taux de rétention de la membrane est déterminé par la formule suivante :

$$TR = (1 - C_i/C_0) * 100 \quad (4.5)$$

TR : taux de rétention,

C_i : concentration du perméat,

C_0 : concentration initiale.

La figure 4.2.7 montre la variation du taux de rétention de notre membrane de microfiltration concernant les MES, les résidus secs et la turbidité.

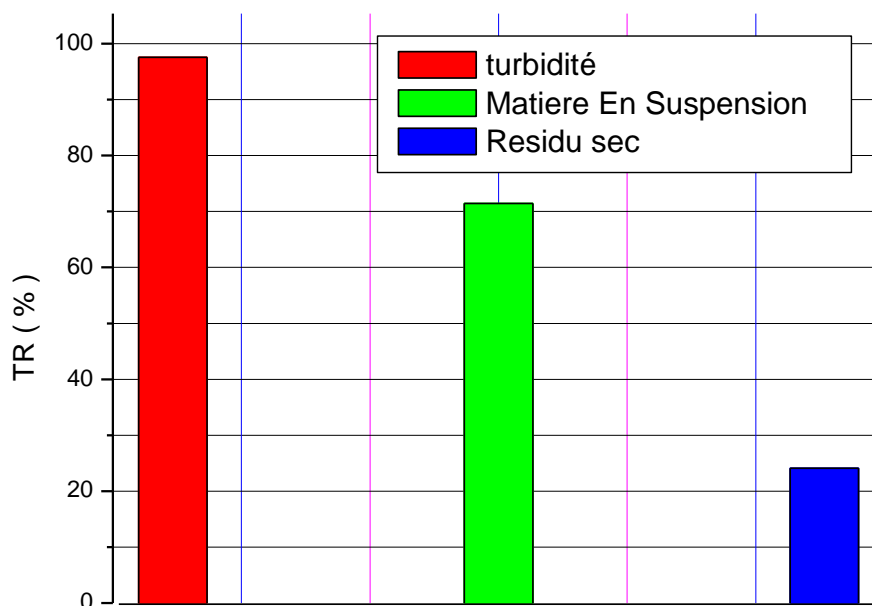


Figure 4.2.7 : Evolution du Taux de Rétention (TR) pendant une demi-heure de filtration

Les résultats présentés dans la figure (4.2.7) montrent qu'il y a une bonne rétention des matières en suspension (TR= 72%), un très bon abattement de la turbidité (TR= 97%) et une faible rétention des résidus secs TR= 24 % qui ne présentent pas de risque pour l'être humain.

4.4. Etude microbiologique

L'objectif visé de cette partie est de s'assurer que notre membrane de microfiltration peut arrêter quelques microorganismes autres que les virus ; il est à signaler que ces tests microbiologiques ont été réalisés au niveau de l'hôpital d'Ibn Badis et au laboratoire d'hygiène de la wilaya de Constantine; les flacons utilisés sont stérilisés avant le recueil de l'eau à partir du montage expérimental figure (4.3.1), et cela pour avoir des résultats fiables de cette étude microbiologique.



Figure 4.3.1 : Flacons des différentes eaux à analyser

L'étude microbiologique des eaux recueillies du montage expérimental de filtration par son volet macroscopique permet la compréhension du fonctionnement du microfiltre comme étant une véritable barrière de filtration vis-à-vis des microorganismes

Une observation régulière permet d'apprécier l'évolution des phénomènes biologiques (examen direct et culture) au cours de la filtration de l'eau, et dans les différents endroits du montage expérimental, cette étude permet de faire le dénombrement et de déterminer le type de bactéries retenues au réservoir.

4.4.1. Détermination des germes aérobies revivifiables

D'après la figure (4.3.2) on observe des colonies sur la gélose PCA dans l'eau brute (alimentation) ce qui signifie la présence des germes aérobies revivifiables, on observe aussi sur la gélose de l'eau du concentrât (Retentât) un nombre plus important des colonies qui prouve leur rétention par la membrane de microfiltration, alors que le nombre de germes augmente dans le concentrât, par contre on constate une absence totale de colonies dans la

gélose dans le cas de l'eau filtrée confirmant cependant la rétention des germes par le microfiltre.



Eau filtrée



Eau brute (alimentation)



Eau du concentrât

Figure 4.3.2 : Variation d'aspect de gélose PCA après ensemencement et incubation à 37°C

4.4.2. Détermination des coliformes totaux

- **Test présomptif**

Dans la figure (4.3.3) on a les tubes (1 et 2) de (BCPL)(D/C) et les tubes (3,4,5 et 6) de (BCPL)(S/C) dans les quelles on a ajouté de l'eau brute.

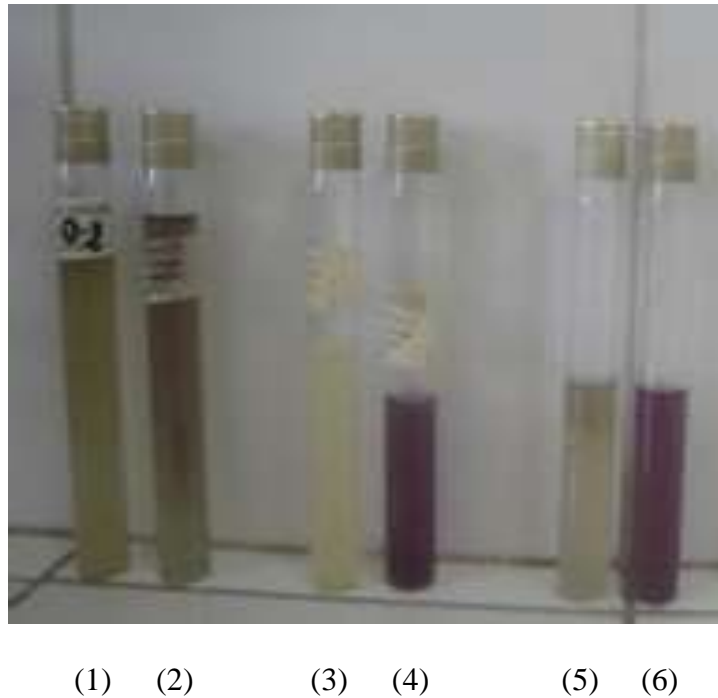


Figure 4.3.3 : Variation d'aspect du (BCPL) après incubation à 37 °C
De l'eau brute

D'après ce qui a été présenté dans la figure 4.3.3, on constate que pour les tubes (1, 3 et 5) qui ont rempli les conditions de présomption des coliformes totaux (trouble bactérien qui accompagne le virage du milieu au jaune et l'émission du gaz supérieur à 1/10 dans la cloche de Durham avec fermentation du lactose à 37 °C), dans le tube (2) on a un trouble bactérien avec virage sans dégagement de gaz donc absence de coliforme totaux, tandis que le reste des tubes n'ont remplis aucunes conditions de présomption.

La figure 4.3.4 présente les analyses microbiologiques réalisés sur l'eau filtrée en utilisant le milieu de culture (BCPL)



Figure 4.3.4 : Variation d'aspect du (BCPL) après incubation à 37°C
De l'eau filtrée

D'après la figure 4.3.4, on constate qu'il n'existe aucune modification de la couleur, la couleur violette inchangée témoigne immédiatement l'absence de coliformes totaux et par conséquent l'absence de coliforme thermo tolérants à savoir (*Escherichia coli*) dans l'eau filtrée donc ils sont peut être captés par le microfiltre et retenus au réservoir d'alimentation.

La figure 4.3.5 représente la variation d'aspect du (BCPL) après incubation à 37 °C du rétentât (concentrât).

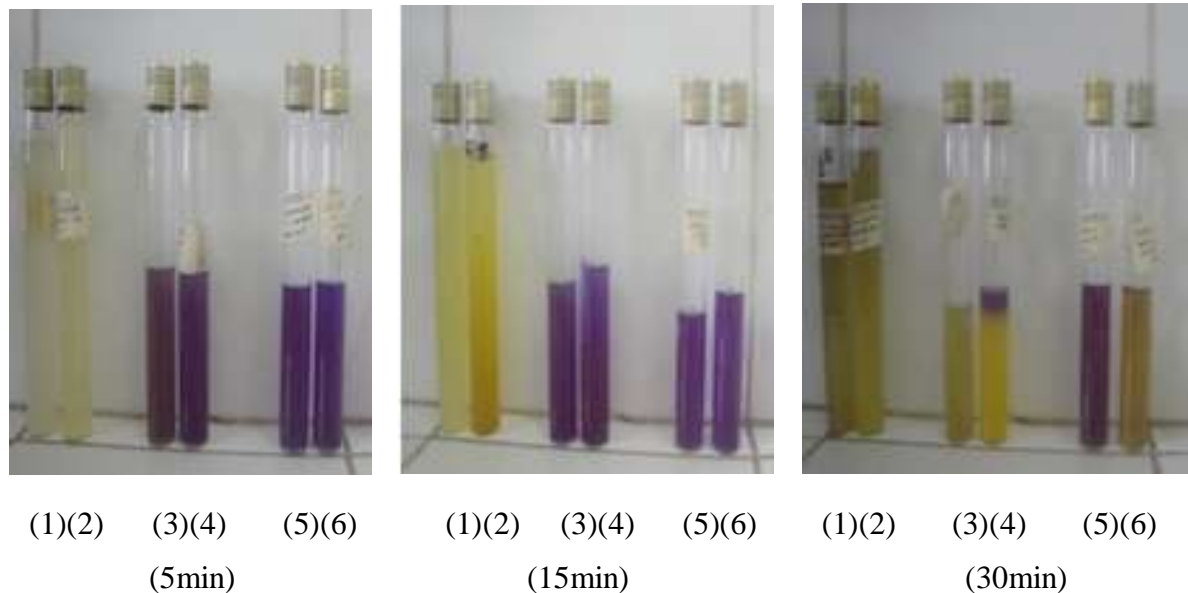


Figure 4.3.5 : Variation d'aspect du (BCPL) après incubation à 37 °C
De l'eau concentrât (Retentât)

D'après la figure (4.3.5), dans les tubes à essai (1) et (2) de (BCPL) (D/C) on a un trouble bactérien et un virage au jaune avec dégagement de gaz dans la cloche du Durham supérieur à (1/10), traduisant la fermentation du lactose, pendant 5, 15 et 30 minutes de filtration prouvant ainsi la présence et l'augmentation du nombre de coliformes dans le retentât.

4.4.3. Détermination des coliformes thermo tolérants (*Escherichia coli*)

• Test confirmatif

Dans les tubes à essai, on utilise le milieu de culture schubert après repiquage des trois tubes infectés par les coliformes totaux (1, 3 et 5) de la figure (4.3.3) ainsi que les tubes (1 et 2) à 5, 15 et 30 min de filtration qui correspond à la figure (4.3.5) et après incubation on a ajouté 2 à 3 gouttes de kovacs par tube, voir les figures (4.3.6) et (4.3.7), on observe le développement des coliformes thermo tolérants (*Escherichia coli*) dans l'eau brute et dans le concentrât, cela est prouvé par l'apparition du produit de l'indole à partir du tryptophane dans le milieu à 44 °C donnant ainsi un résultat positif manifesté par l'apparition de l'anneau rouge de méthyle qui surmonte le liquide dans les trois tubes, et donc ne produit pas de l'acéthyl carbinol et n'utilise pas le citrate comme source unique de carbone.

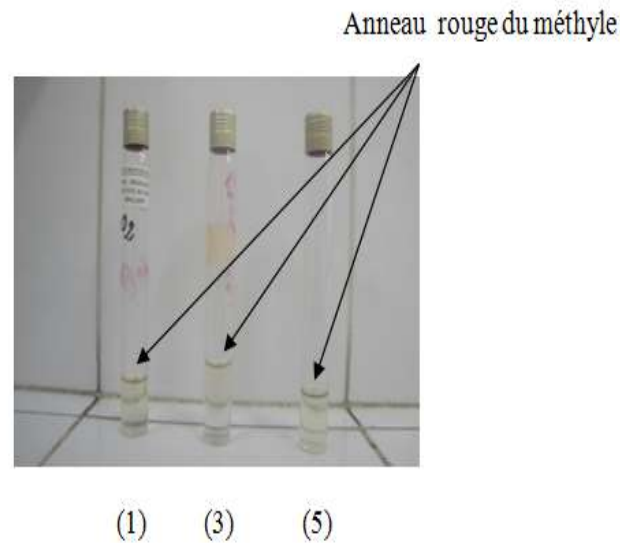


Figure 4.3.6 : Variation d'aspect du bouillon Schubert
Après repiquage et incubation à 44°C De l'eau brute (alimentation)

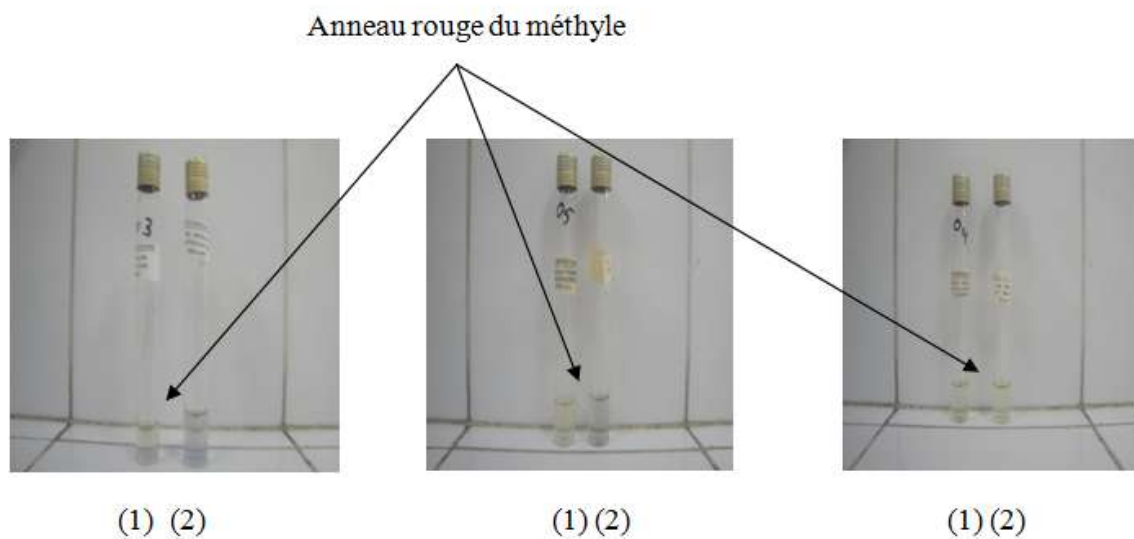


Figure 5.3.7 : Variation d'aspect du bouillon Schubert après repiquage et incubation à 44°C
De l'eau concentrât (Retentât)

4.4.4. Détermination des streptocoques

Dans ce qui suit, on a utilisé le bouillon Rothe qui permet de mettre en évidence la présence des streptocoques dans l'eau utilisée (figure (4.3.8)), et comme on remarque l'absence de trouble et de pastille blanche ou violette au fond des tubes, cette constatation témoigne

l'absence des bactéries suscitées « les streptocoques » dans toutes les eaux d'alimentation (brute) et donc automatiquement sont absents dans les eaux filtrées et dans le concentrât.

NB : pour tester l'efficacité du microfiltre dans la captation du streptocoque on doit utiliser une eau brute contaminée par cette dernière.



Eau filtrée



Eau brute (alimentation)



Concentrât après 5 min



Concentrât après 15 min



Concentrât après 30 min

Figure 4.3.8 : Variation d'aspect du bouillon (Rothe) après incubation à 37 °C

Des eaux

4.4.5. Détermination des clostridium et des bactéries sulfito-réductrices

En utilisant la gélose VF et les réactifs correspondant pour mettre en évidence la présence de clostridium, la figure (4.3.9) montre qu'il n'y a pas de colonies noires de 0.5 mm de diamètre qui doivent pousser en masse dans tous les tubes montrant ainsi l'absence des bactéries anaérobies sulfito-réductrices et de clostridium dans toutes les eaux (brute ; concentrât ; filtrée).

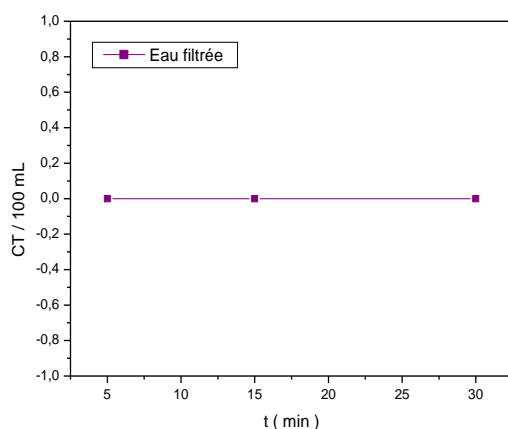


Figure 4.3.9 : Variation d'aspect de gélose VF après solidification
Et incubation à 37°C dans les eaux

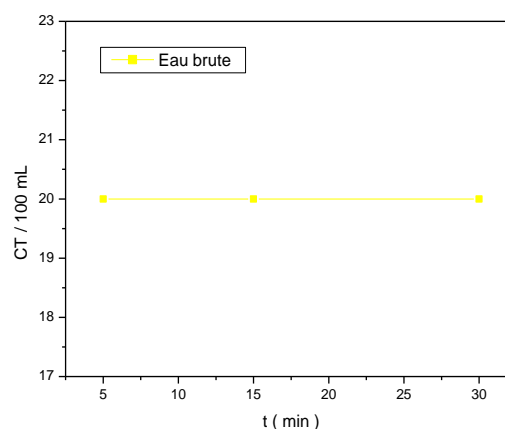
4.4.6. Dénombrements des coliformes thermo tolérants et des germes aérobies revivifiables

On fait le dénombrement des coliformes totaux et les coliformes thermo tolérants, à savoir *Escherichia coli* par la technique du Nombre le Plus Probable (NPP) et par le tableau des tubes de [2 (D/C) 2 (S/C) 2 (S/C)] de MAC GRAY (voir annexes), on est arrivé à tracer les courbes de la figure (4.3.10) ; par contre le dénombrement des colonies des germes aérobies se fait à l'œil nue puis on trace les courbes (figure (4 .3.11)).

4.4.6.1. Dénombrements des Coliformes thermo tolérants (*Escherichia coli*)



(a)



(b)

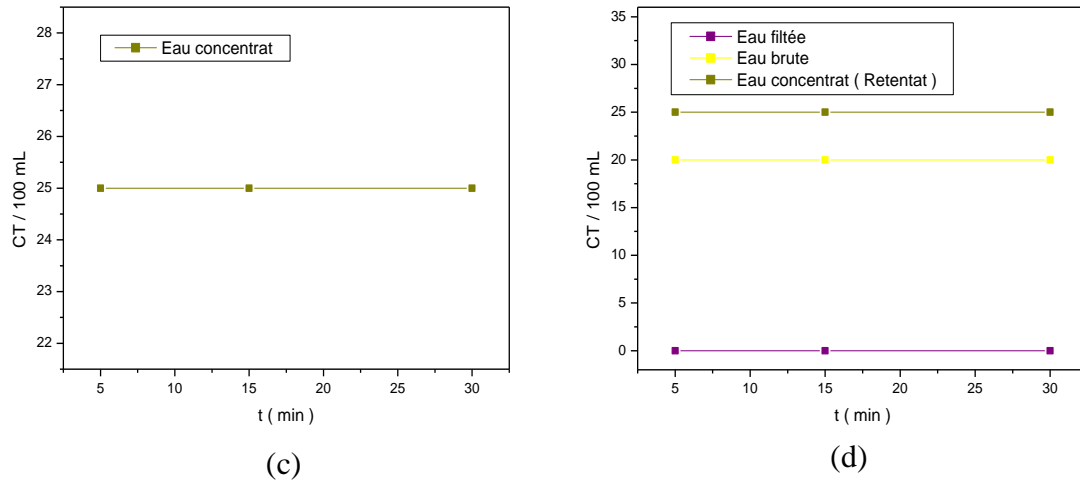
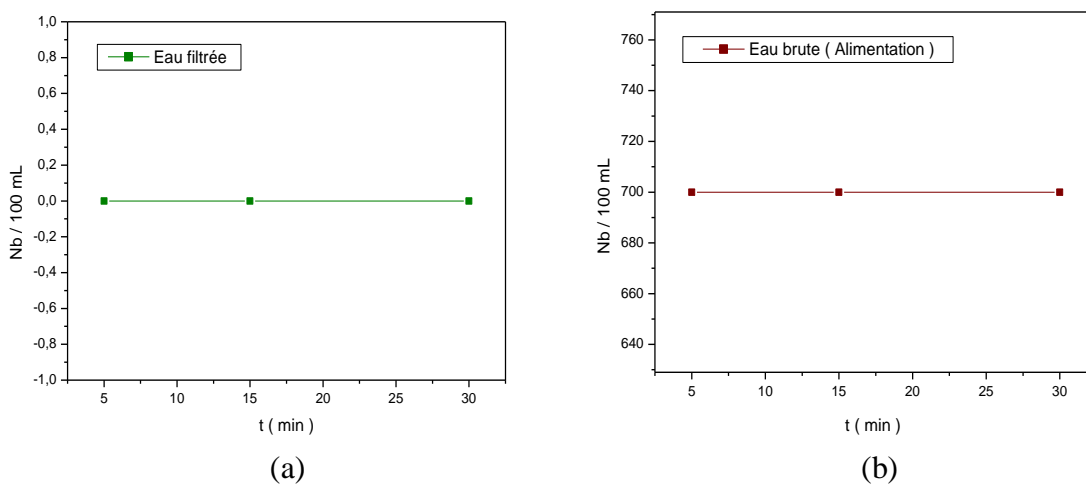


Figure 4.3.10 : Variation du nombre des coliformes thermo tolérant (E.COL) dans 100 ml d'eau en fonction du temps $CT = f(t)$

On a obtenu une droite avec une valeur nulle (0 CT/100 ml) sur le graphe (a) de la figure (4.3.10) qui présente une eau filtrée stérile , ceci est obtenu par la captation des coliforme thermo tolérants par la membrane de microfiltration, confirmant que celle-ci possède des pores ayant une taille inférieure à celle des coliformes ; par contre la droite présentée dans le graphe (b) d'eau brute contaminées signifiant la présence des coliforme thermo tolérants à savoir l'Escherichia coli qui a une valeur non nulle (20 CT/100ml) ; le même aspect retrouvé sur le graphe (c) mais avec une valeur plus importante (25 CT/100ml) expliquant la rétention avec augmentation de la concentration et / ou la multiplication de coliformes thermo tolérants.

4.4.6.2. Dénombrements des germes aérobies revivifiables



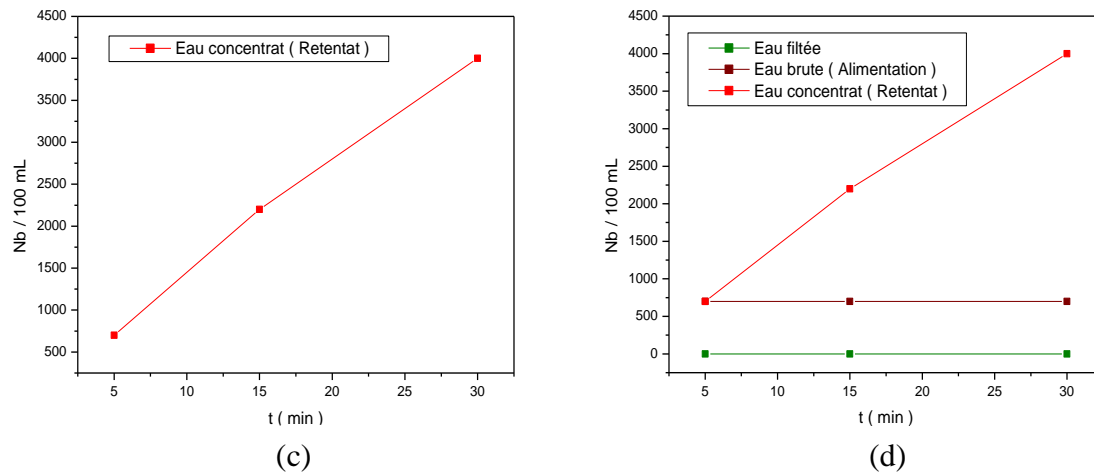


Figure 4.3.11 : Variation du nombre des germes aérobies revivifiables dans 100 ml de l'eau en fonction du temps de filtration $Nb = f(t)$

D'après la figure (4.3.11), on observe dans le graphe (c) l'augmentation du nombre des germes aérobies revivifiables qui explique la rétention avec concentration et/ou la multiplication des germes dans le concentrat (c) pendant la période de filtration ; par contre dans le graphe (a) (eau filtrée) on obtient une droite (dont le nombre des germes est nul durant toute la filtration) avec une pente nulle montrant ainsi que tous les germes sont captés par la membrane de microfiltration ; alors que dans le graphe (b) on constate qu'on obtient aussi une droite parallèle à l'axe des abscisses mais avec une valeur non nulle (700 Nb /100ml) qui montre la présence des germes dans l'eau brute.

Conclusion générale

Les procédés membranaires sont des opérations de séparation qui sont le plus développées ces dernières années. Dans ce sens les procédés membranaires les plus avancés dans le domaine de production de l'eau potable sont : la microfiltration, l'ultrafiltration et la nanofiltration.

Aujourd'hui, le problème le plus aigu de ces opérations concerne le colmatage des membranes qui réduit leur productivité ; accroît la fréquence des lavages et les volumes d'effluents générés, ce qui mène à l'augmentation des dépenses d'énergie et la réduction des durées de vie des matériaux filtrants.

Cette étude a montré que l'utilisation de la microfiltration dans le traitement des eaux pour la production de l'eau potable constitue une démarche très intéressante, puisque une importante amélioration de la qualité a été enregistrée avec des performances en termes de flux perméabilité et résistances.

Avec les essais de filtration ; il est possible d'évaluer l'influence des conditions d'opération (temps, pression) à la productivité de système membranaire et la qualité d'eau produite.

Le procédé de microfiltration tangentiel dans notre étude a permis de montrer que cette technique est intéressante vue :

- L'étude hydrodynamique a montré qu'il y a une rétention de la membrane de microfiltration de certains polluants, ce qui a été observé lors de la comparaison des flux de perméat de l'eau propre et de l'eau brute.
- Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau nous avons constaté qu'il y a eu une diminution de la matière en suspension et le résidu sec, et une meilleure clarification se situe entre 0.7 à 0.9 NTU, celle-ci peut être classée dans les normes des eaux potables (turbidité inférieur ou égale à 1 NTU)
- Les analyses bactériologiques ont montré que l'eau obtenue est pratiquement stérile, donc le système de production réalisé a permis l'élimination totale des bactéries pathogènes à savoir : des coliformes totaux, coliformes fécaux, thermo tolérant et E/coli, ainsi que les germes aérobies revivifiables.

D'après les résultats obtenus, on peut dire que les résultats de microfiltration sont très intéressants, et qu'il est très possible de faire introduire cette technique dans la chaîne de traitement après le bassin de sédimentation.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1]: Zeng J, Ye, H and liu.H characterization of a hollow fiber ultrafiltration and membrane and control of cleaning procedures by streaming potential method, *Desalination* 195 , 2006
- [2]: Ministère des ressources en eau, 'guide technique du ministère des ressources en eau', l'établissement ADE 'Algérie 2013
- [3]:L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) 'Les paramètre de l'eau potable' Algérie 2014
- [4]: L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) 'Les normes de qualité de l'eau potable' Algérie, 2014
- [5]:L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) 'Les paramètre physico-chimique de l'eau ' Algérie 2013
- [6]:Berg JM, Tymoczko JL Stryer L, *Molecular Cell Biology*, WH Freeman, 5^e éd. 2002
- [7]:Schulz H, Jorgensen B. « Big bacteria ». *Annu Rev Microbiol* 55 : 105 – 37; 2001
- [8]:Lecointre G. Le Guyader H. *Classification phylogénétique du vivant*, Belin 2001
- [9]:Robertson J, Gomersall M, Gill P. « Mycoplasma hominis: growth, reproduction, and isolation of small viable cells ». *J Bacteriol.* 124 (2): 1007-18 ; 1975
- [10]:Elmund, GK, MJ Allen et EW Rice Comparison of Escherichia coli, total coliform and fecal coliform populations as indicators of wastewater treatment efficiency. *Water Environ. Res.*, 71 : 332-339 ;1999
- [11]:Edberg, SC, EW Rice, RJ Karlin et MJ Allen ; Escherichia coli : the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*, 88 : 106S-116S ; 2000
- [12]:Bruno de Reviere, *Biologie et phylogénie des algues*, vol. 1 : tome 1, Paris, Belin, coll. « Belin Sup Sciences / Biologie », 352 p octobre 2002
- [13]:Bruno de Reviere, *Biologie et phylogénie des algues*, vol. 2 : tome 2, Paris, Belin, coll. « Belin Sup Sciences / Biologie », 256 p ; février 2003
- [14]:sur la page de Vincent Cimetiere, TD de licence 1^{re} année
- [15]:godart. H ; *eaux de distribution ; traitements unitaires ; technique de l'ingénieur génie civil CE1 (C5200) . C5200.1-C5200.20 ; 2000*
- [16]:Maure L A, *Techniques séparatives à membranes : osmose inverse, nanofiltration, ultrafiltration, microfiltration tangentielle – Considérations théoriques*, in *Techniques de l'Ingénieur*, p.p. 1-24, 1993.

- [17]: Baker R.W. Membrane Technology and Applications. John Wiley & Sons. USA. 538 p ,2004
- [18] :Audinos R., Isoard P., Glossaire des termes techniques des procédés à membrane, Société française de filtration, 142 p ,1986.
- [19] :Bouchard, C., Kouadio, P., Ellis, D., Rahni, M., Lebrun, R.E. Les procédés à membranes et leurs applications en production d'eau potable, Vecteur Environnement; 33:4:28-38, 2000
- [20] :Aptel, P., Buckley, C. A. Categories of membrane operations, chapitre 2 du livre Water Treatment Membrane Processes, AWWA-Research Foundation, Lyonnaise des Eaux, Water Research Commission of South Africa, McGraw-Hill, New York, NY,1996.
- [21]:Buisson H., Lebeau T., Lelievre C., Herremans L. Les membranes : point sur les évolutions d'un outil incontournable en production d'eau potable, L'eau, l'industrie, les nuisances, pp42-47, 1998.
- [22]: Belfort G., Davis R.H., Zydney A.L., The behavior of suspensions and macromolecular solutions in crossflow microfiltration, In :Journal of Membrane Science, no.96/1994,page1-58.
- [23]:A.P. Tamas ; 'Étude comparée du colmatage en nanofiltration et en ultrafiltration d'eau de surface', thèse ,québec ,2004.
- [24]:laborite s , décolmatage de membrane d'ultrafiltration par un écoulement intermittent gaz-liquide-application à la production de l'eau potable ,thèse INSA de Toulouse 1998
- [25] : Hermia J., Constant pressure blocking filtration laws – application to power-law non-newtonian fluids, In: Institut of Chemical Engineers, vol.60, no.3, 1982, page 183-187
- [26]:Habarou Hélène; suivi et caractérisation du colmatage par les matières organique naturelles des membranes de microfiltration et d'ultrafiltration : application à la production de l'eau potable, thèse université de poitiers, 2004
- [27] : Daufin G., René F. et Aimar P. Les séparations par membrane dans les procédés de l'industrie alimentaire. TEC&DOC. France. 1998 .page 592
- [28]: No-Suk Park, Moon-Sun Kang, Woochang Jeong, Jong-Oh Kim, 'Experimental determination of the characteristics of physico-chemical particles in air-scouring-membrane (microfiltration) backwash water produced during drinking water treatment', Chemical Engineering Research and Design, Volume 94, 2015, Pages 714–720.
- [29]: Sangho Lee, Pyung-Kyu Park, Jae-Hyuk Kim, Kyung-Min Yeon, Chung-Hak Lee, 'Analysis of filtration characteristics in submerged microfiltration for drinking water treatment', Water Research, Volume 42, Issue 12, 2008, Pages 3109–3121
- [30]: L'établissement Algérienne Des Eaux (ADE), Documentation interne de la station de traitement de Ain Tinn, Mila Algérie 2015

[31] :Fred Fu L . Dempsey B .A. Modeling the effect of particle size and charge on the structure of the filter cake in ultrafiltration, journal of membrane science 194,221-240 (1998)

[32] :gourgues c , ultrafiltration de suspension de bentonite par des fibres creuses : production d'eau potable, thèse de l'université paul sabatier laboratoire de génie chimique , Toulouse (1991).

[33] :Fan L.Roddick F.Booker N .A. Fouling of microfiltration membrane by the fractional components of natural organic matter in surface water,water science and technology :water supply 2 ,100,259-272 (1995)

Annexes

Annexes

La stérilisation

Absence de tout germe, bactérie ou virus, sous forme de spores ou sous formes végétatives.

Stérilisation par les méthodes physiques

- **Flambage**

Il est basé sur l'emploi du bec Bunsen. Cette méthode est utilisée pour la stérilisation extemporanée (pour utilisation immédiate) du matériel de manipulation : extrémité de l'öse, , extérieur des pipettes Pasteur et pipettes graduées, col des tubes à essai, tubes contenant des milieux de culture, erlen meyers et flacons divers, étaloirs ...

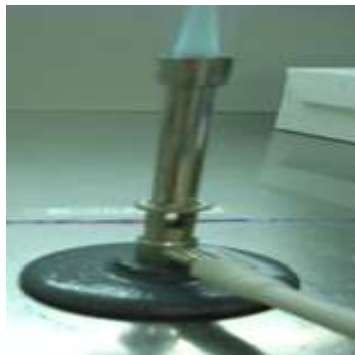


Photo N°1 : bec benzène

Il est à noter que le bec Bunsen, réglé avec une flamme bleue, la plus chaude, crée une zone de stérilité d'un diamètre d'environ 20 cm, par ascendance de l'air de cette zone. Toutes les manipulations d'ouverture de tubes et boîtes de culture, d'ensemencement, devront être réalisées dans ce diamètre.

- **Flambage a l'alcool**

Il est utilisé pour la stérilisation de matériel de manipulation en verre, ou la désinfection des pailles.(Attention, opération dangereuse)

- **Four pasteur**

C'est un four - étuve à air chaud et sec. Il est utilisé pour la stérilisation de la verrerie vide (tubes à essai, boîtes de Pétri, tubes à culture et bouchons, pipettes Pasteur et récipients divers).

La verrerie à stériliser doit être propre et parfaitement sèche, éventuellement bouchée avec du coton et emballée dans du papier solide. Elle est alors disposée à l'intérieur du four et subit un chauffage de :

- ✓ 30 minutes à 1 heure à 170° - 180°C ou 2 heures à 160°C ce qui a pour but d'éviter le brunissement du coton.

Le matériel ainsi stérilisé sera laissé dans l'étuve jusqu'à son refroidissement complet, puis stocké à l'abri des poussières.



Photo N° 2 : Etuve

- **L'autoclave:**

C'est un appareil très performant qui est indispensable dans une unité de microbiologie. Il est utilisé pour stériliser les milieux de culture neufs ou souillés, mais peut également stériliser tout autre matériel de microbiologie.

Le chauffage a lieu sous pression de vapeur d'eau, à une température de 100° à 130°C, pendant une durée qui varie en fonction du milieu, de la température utilisée et du volume des récipients.

En milieu saturé d'humidité et sous pression, la stérilisation s'opère à des températures inférieures à celles qui sont nécessaires en milieu sec.

Le matériel à stériliser est déposé dans les paniers métalliques de l'autoclave dont on aura vérifié le niveau d'eau avant chaque opération de stérilisation.

Pour la suite des opérations : mise en chauffe, jet de vapeur, montée de pression, lire attentivement la notice du constructeur.



Photo N° 3 : Autoclave

Stérilisation par les agents chimiques

- **L'hypochlorite de sodium (eau de Javel)**

Est utilisé dilué dans les bacs destinés à recevoir les lames usagées, ou en pissette pour la désinfection des mains, des paillasse et des sols.

- **Les savons et détergents**

Agissent surtout par leur pouvoir mouillant, ce qui facilite l'élimination des germes.

Préparation d'une analyse bactériologique

L'objet du présent travail est de déterminer les caractéristiques bactériologiques de l'eau.

Pour ce faire, nous avons analysé trois échantillons de l'eau :

- 1- l'eau brute (alimentation)
- 2- l'eau filtrée
- 3 l'eau retenue (concentrât)

Matériel utilisés

Pour réaliser l'analyse bactériologique de l'eau nous avons eu recours au matériel suivant :

- ✓ Tubes à essai
- ✓ Pipettes pasteur et pipettes graduées
- ✓ Les flacons en verre de 250 ml
- ✓ Les boîtes de pétri
- ✓ Balance
- ✓ Bêchers
- ✓ Eppendorfettes et fioles
- ✓ Agitateur
- ✓ Erlen Meyer
- ✓ un barreau magnétique

Appareillage

- ✓ Un bain marie
- ✓ Une étuve de 37°C
- ✓ Autoclave
- ✓ Une étuve de 44°C
- ✓ Four pasteur
- ✓ La hotte
- ✓ Réfrigérateurs
- ✓ un bec Bunsen
- ✓ Microscope optique
- ✓ Distillateur
- ✓ Rompe de filtration
- ✓ Turbidimètre



Photo N° 4: Etuve de 37 °C



Photo N° 5 : ben marie



Photo N°6 : Etuve de 44 °C



Photo N° 7 : microscope optique



Photo N° 8 : Distillateur



Photo N°9 : Rompe de filtration



Photo N° 10 : turbidimètre

Les milieux de cultures utilisés

Les différents milieux de cultures utilisées sont :

- ✓ Milieu ROTHE et milieu EVA- LITSKY : pour le dénombrement des streptocoques.
- ✓ milieu BCPL : pour le dénombrement des coliformes.
- ✓ SCHUBER : pour le dénombrement des E.COLI.
- ✓ gélose TGEA : pour le dénombrement des microorganismes révivables.
- ✓ Gélose VF (viande foie) : pour la recherche et le dénombrement des clostridium sulfite-réducteurs.
- ✓ BLBVB : pour le dénombrement des coliformes (test de confirmation)

Les réactifs

- ✓ Le réactif de KOVACS.
- ✓ thiosulfate de sodium.
- ✓ Additif Sulfite de sodium.
- ✓ alun de fer.

La solution

- ✓ L'eau distillée.
- ✓ L'eau brute.

Tableau de MAC GRADY

Nombre de tubes donnant une réaction positif			Nombre Des bactéries
2 tubes de double concentration (D/C)	2 tubes de simple concentration (S/C)	2 tubes de simple concentration (S/C)	
0	0	0	0
0	0	1	5
0	1	0	5
1	0	0	6
0	1	1	9
1	0	1	12
1	1	0	13
1	2	0	20
1	1	1	20
1	2	1	30
2	0	0	25
2	0	1	50
2	1	0	60
2	1	1	130
2	1	2	200
2	2	0	250
2	2	1	700
2	2	2	1100

Conférences et participations
