

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

681

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Mémoire de Mastère

Présenté à l'Université de Guelma

Faculté des sciences et de la technologie

Département de : génie civil et Hydraulique

Spécialité : Hydraulique

Option : Hydraulique et technique des eaux

Présenté par *Nezzari Chafia:*

le Traitement des eaux par procédé d'osmose inverse
des de la conserverie alimentaire Amor Ben Amor CAB D'elfdjoudj

Sous la direction de :

M^{me} Dorbani .M

Juin 2011

11/2737

يا رب ...

إِذَا أَنْعَمْتَ عَلَيَّ مَالًا ... فَلَا تَأْخُذْ سَعَاتِي

وَإِذَا أَنْعَمْتَ عَلَيَّ قُوَّةً ... فَلَا تَأْخُذْ عِزِّي

وَإِذَا أَنْعَمْتَ عَلَيَّ جَاهًا ... فَلَا تَأْخُذْ تَوْاضِعِي

وَإِذَا أَنْعَمْتَ عَلَيَّ تَوْاضِعًا ... فَلَا تَأْخُذْ عِزِّي

وَإِذَا أَنْعَمْتَ عَلَيَّ قُدْرَةً ... فَلَا تَأْخُذْ عَنِّي

REMERCIEMENTS



A la fin d'une formation, il est de tradition d'exprimer ses reconnaissances à l'égard de ceux qui, par leurs apports multiformes ont contribué à l'aboutissement et à la réussite de celle-ci.

C'est ainsi qu'à travers cette mémoire, je tiens tout d'abord à remercier du fond de mon cœur mon Encadreur M^{me} Dorbani M grâce à sa détermination, sa simplicité, son entière disponibilité et ses conseils, j'ai acquis de nouvelles connaissances dans le domaine des réseaux d'assainissement,

Je tiens à remercier spécialement Mme Safia et Fouad et Chouaib pour les conseils concernant la base de données, ils ont grandement facilité mon travail.

Je n'oublierai aussi jamais tous mes collègues avec qui, j'ai partagé des moments agréables et qui m'ont apporté leur support moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

Je ne saurai terminer sans adresser mes sincères remerciements à mes sœurs wassila, sihame, Rjma, Bassma et Chaima et leur enfants : marama ; arine ; et taha qui m'ont apporté leur soutien afin que je puisse suivre cette formation.

Résumé :

L'osmose inverse peut être définie comme une procédure de séparation en phase liquide par perméation à travers de membranes perméables sous l'action d'un gradient de pression.

Pour mieux comprendre ce procédé on a étudié le cas d'un système d'osmose inverse qui existe à la chaîne de traitement des eaux de conserverie à Ben Amor el Fdjoudj Guelma.

Pour atteindre notre objectif on a étudié la chaîne de traitement de la conserverie ainsi les différentes théories des membranes de l'osmose inverse.

Les analyses et le contrôle nous ont permis de faire :

- 1- les courbes de variation de débit concentré en fonction des heures de marche d'osmose inverse.
- 2- les courbes de variation de la pression d'entre 1er étage en fonction des heures de marche d'osmose inverse.
- 3- les courbes de variation de débit perlat en fonction des heures de marche d'osmose inverse.

Mot clés :

Osmose inverse-membrane, traitement des eaux potables, caractéristique de l'eau potable, conductivité.

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I: généralités <i>dur</i> les eaux potable. §	
I-1- Définition des eaux potable §.....	3
I-2- Origine des eaux potables.....	3
I-2-1- Eaux de sources, eaux minérales.....	4
I-2-2- Eaux brutes	4
I-3- Les substances présentes dans l'eau	5
I-4- Chaîne de traitement d'eau potable	6
I-4-1- Prétraitement	6
I-4-2- Traitement de clarification	7
I-4-3- Traitement bactéricide et virulicide	8
I-5- Caractéristique des eaux potables	9
I51- Les caractéristiques physiques	10
a/ <i>lumpidité</i>	
b/ Température	
c/ Saveur et odeur	
d/ La couleur	
e/ La turbidité	
I-5-2- Les caractéristiques physiques – chimiques.....	12
a- Le PH	
b- La conductivite	
c- La dureté totale	
d- Acidité Alcalimite (TA - TAC)	
I-5-3- Les caractéristiques chimiques	13
a/ Le calcium (Ca^{++})	
b/ Le Magnésium	
c/ Résidu sec	

Physico chimiques

I-5-4- Les caractéristiques bactériologiques	14
I-6- Norme de qualité et de potabilité	16

Chapitre II : description de la station de traitement d'eau potable à l'usine de Amer Ben Amer

II-1- Généralités.....	20
II-2- Débit de fonctionnement	21
II-3- Le principe du traitement	21
II-4- Description des installations	24
II-4-1- autonettoyant	25
II-4-2 Décanteur	25
• Coagulation – floculation	
• Sédimentation / Décantation	
II-4-3 Filtration sur sable	27
II-4-4 Ultrafiltration	27
II-4-5 Deférisateur	29
II-4-6 Osmose inverse	30
II-4-7 Adoucisseur	34
II-4-8 Filtre charbon actif.....	36
II-5-1- Caractéristiques dimensionnelles.....	36
1/ Filtre autonettoyantes	
2/ Décanteur	
3/ Ultrafiltration	
4/ Deférisateur	
5/ Osmose inverse	
6/ Adoucisseur	
7/ Filtre à charbon actif	

II-6- Qualité d'eau traitée	38
II-6-1- Qualité physique – chimique	39
II-6-2- Quantité bactériologique	39

Chapitre III : Aspect théorique de l'osmose inverse

III-1- Introduction	41
III-2- Historique	41
III-3- Différentes chaînes de traitements	43
III-3-1- L'osmose inverse	43
III-3-2- La nanofiltration	43
III-3-3- L'ultrafiltration	44
III-3-4- Microfiltration tangentielle	44
III-4- Structures et équipement des membranes	48
III-4-1- Les matières utilisées	48
a/ Les dérivés de celluloses	
b/ Les polypropylène	
c/ Les polysulfones	
III-4-2- Structures	49
a/ Membranes organique	
b/ Membranes minérales ou inorganique	
c/ Membranes composite	
d/ Membranes échangeuse d'ions	
III-4-3- Les modules	52
III-4-4- Les différents équipements d'un système membrane	55
III-5- caractéristique principales des membranes	57
III-6- Colmatage et nettoyage des membranes	59
III-6-1- Prévention du colmatage	60

III-6-2- Technique de nettoyage des membranes.....61

III-7- Principe de l'osmose inverse 61

III-7-1- Définition.....61

1- pression osmotique62

2- Mécanisme diffusionnelle63

III-7-2- Etape d'osmose inverse 56

III-7-3- Avantage d'une eau osmosée.....65

III-7-4-Désavantage d'une eau osmosée65

III-7-5- Equations fondamentales de l'osmose inverse.....66

Chapitre IV : Analyse et contrôle du système d'osmose inverse

est le détail

Listes des tableaux

Tableau I-1: principales différences entre les eaux superficielles et eaux souterraines.....	14
Tableau I-2: Normes européennes de potabilité des eaux.....	17
Tableau III-1: Différents composés rencontrés dans les eaux naturelles et les techniques permettant leur élimination.....	42
Tableau III-2: Chaîne de traitement avec filtration sur membranes d'UMF.....	45
Tableau III-3: Chaîne de traitement avec filtration sur membranes de NF (Nano Filtration).....	46
Tableau III-4: Chaîne de traitement avec filtration sur membranes de NUF.....	47
Tableau III-5: Comparaison des différents types de modules.....	54
Tableau IV-1: contrôle système à osmose inverse. « 08/ 2009 ».....	72
Tableau IV-2: contrôle système à osmose inverse. « 07/ 2010».....	75
Tableau IV-3: contrôle système à osmose inverse. « 08/2010 ».....	78
Tableau IV-4: Résultat des analyses de laboratoire de l'eau osmosée...81	
Conclusion.....	82

Introduction

C'est un lien commun de dire que l'eau est l'élément essentiel de notre planète, elle couvre les quatre cinquième du globe terrestre. *(référence)*

Sur terre l'eau se comporte comme un solvant quasi universel est un véhicule de la plupart des substances qui se trouve à la surface où à l'intérieure de la croûte terrestre pour faire image, ont pourrait dire que dans les eaux naturelle on peut trouver au moins à l'état naturel de très faible trace *de tous* ou les produit de leur dégradation que les eaux ont pu rencontrer au cours de leur acheminement les substances qui se trouve *ent* dans l'eau se présentent sous l'une des formes, ci-après *nt* simultanément ou non.

- en suspension.
- Colloïde
- Dissoute *traitée*

Cette eau est traitée dans des station de traitement à partir de plusieurs procédés successifs et différents, parmi eux on peut citer le processus d'osmose inverse qui *peut* être définie comme des procédés de *par* séparation en phase solide / liquide, perméabilité à travers des membranes permselectives sous l'action d'un gradient de pression.

Pour atteindre notre objectif on a choisie l'osmose qui se trouve à l'usine *Nous avons choisie le procédé d'osmose* de Amer Ben Amer, à la commune de Bouati Mahmoud Wilaya de *disponible à* Guelma a construit une annexe à la commune d'el fedjoudj

chapitre I

généralité sur les eaux potables

Chapitre I : Généralité sur les eaux potables

I - 1 - Définition des eaux potables :

L'eau est de toutes les matières la plus importante pour l'existence de l'homme, elle est indispensable pour la survie et pour le développement de l'homme et de la société moderne.

Une eau est dite potable quand elle satisfait à un certain nombre de caractéristiques la rendant propre à la consommation humaine, et que l'on peut boire sans risque pour la santé.

Pour répondre aux exigences qualitatives d'une potabilité de l'eau, il faut qu'elle doive être :

- * claire
- * inodore
- * d'une saveur agréable
- * pauvre en germe microbienne
- * ne pas renferme des substances chimiques peuvent causer des maladies
- * ne pas avoir des propriétés agressives vis-à-vis des canalisations.

L'eau est vital nécessaire pour toute forme de vie car les trois quart (1/4) du globe terrestre sont constitués d'eau. L'être humain doit absolument la préserver car elle est la raison de son existence.

I - 2 - Origine des eaux potables :

I - 2 - 1 - Eaux de source, eaux minérales :

- Les eaux dites de « source » sont des eaux naturellement propre à la consommation humaine : on parle alors d'eau potable, le seul traitement qu'il est permis de leur appliquer sont l'aération, la décantation et la filtration.

- Les eaux minérales naturelles, elles peuvent être des eaux « non potables » dans le sens où elles possèdent des propriétés particulières. Elles ont des teneurs en minéraux qui peuvent leur donner des vertus thérapeutiques. Comme les eaux de source, elles ne peuvent être traitées.

I-2-2 - Eaux brutes :

De la qualité des eaux brutes (ressource en eau avant tout traitement de potabilisation) va répondre :

- L'autorisation de prélever cette eau pour la rendre potable
- La filière et potabilisation appropriée.

Les eaux superficielles destinées à la production alimentaire doivent répondre à des exigences de qualité très précises et fixes par des organismes spécialisés.

Les systèmes de classifications s'articulent autour de deux éléments :

- Les paramètres de qualité auquel en tout état de cause répondre les eaux brutes.
- le procédé type de traitement utilisé pour la potabilisation

I-3 - Les substances présentes dans l'eau :

L'eau suit dans la nature un cycle (précipitations, ruissellement ou infiltration, écoulement vers les océans, évaporation, condensation) que résume la figure I_1, les moteurs de cette circulation sont essentiellement les processus d'évaporation condensation des eaux des océans et des rivières et la transpiration des plantes le déplacement de l'eau et assuré par les masses nuageuses atmosphériques.

Une des principales propriétés de l'eau à l'état liquide est son pouvoir solvant élevé vis-à-vis des éléments minéraux organique et des gazes d'où les eaux de surface contiennent des substances qui ont pour origine :

- Gaz atmosphérique (azote pour la plus grande partie oxygène mais aussi gaz carbonique et gaz rares).
- Impuretés de l'air poussière gaz de combustion des foyers domestiques et industriels rejet de l'industrie.
- Débris solides variés (roches, végétaux, animaux).
- Les substances solubles de la surface (produits de décomposition des végétaux, déjections animales, certains minéraux très solubles, mais aussi rejets de l'activité humaine, urbaine, industrielle et agricole).

Lorsque l'eau s'infiltré dans le sol, son pouvoir solvant s'exerce pleinement sur les roches avec lesquelles elle est en contact.

Les substances présentes dans l'eau peuvent faire l'objet de diverses classification ; matières inertes ou organismes vivants ; matières solides ou matières organiques, sels minéraux ou gaz etc...

Ainsi les eaux de surfaces devraient subir des modifications physiques, chimiques et biologiques qui les rendent potable.

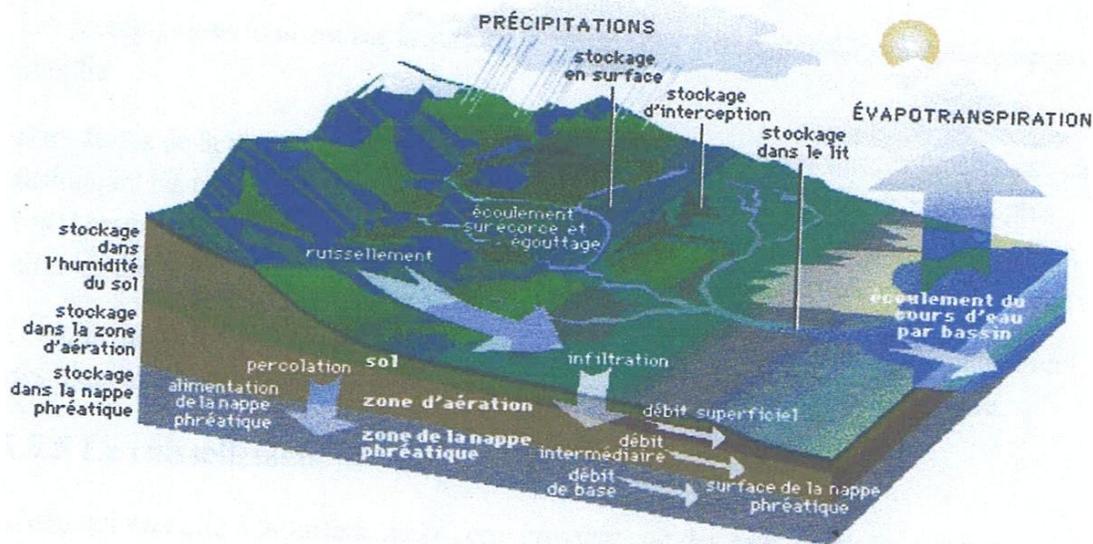


Figure 1: Cycle de l'eau (schéma global)

Figure I_1: cycle de l'eau

I - 4 - chaînes de traitement d'eau potable :

Toutes les eaux de la nature ne sont pas bonnes à boire. Même une eau d'apparence limpide transporte en son sein toutes sortes de substances inertes et vivantes dont certains peuvent être nocive pour l'organisme humain. L'eau est ainsi le vecteur de transmission privilégié de nombreuses maladies.

Pour pouvoir être consommé sans danger l'eau doit être traité. Donc elle soumise à diverses étapes de traitement réalisée dans plusieurs unités de la station de traitement des eaux.

Dans les chaînes de traitements modernes on utilise le procédé physico-chimique qui consiste en trois phases :

- Prétraitement
- Traitement de clarification ;
- Traitement bactéricide et virulicide

I - 4 - 1 - Le prétraitement :

Une eau avant d'être traitée doit être débarrassée de la plus grande quantité possibles d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne pour les traitements ultérieures, pour cela on effectue des prétraitement de l'eau.

Le prétraitement consiste en 2 étapes principales qui permettent de supprimer de l'eau les éléments qui gêneraient les phases suivantes de traitement.

Ces deux étapes principales sont :

- Le dégrillage
- Le tamisage

Le **dégrillage** et le **tamissage** permettent de retirer de l'eau les déchets insolubles tels que les branches, les plastiques, ... etc.

En effet ces déchets ne pouvant pas être éliminés par un traitement biologique ou physico- chimique il faut donc les éliminer mécaniquement. Pour ce faire, l'eau passe à travers une ou plusieurs grilles dont les mailles sont de plus serrées.

Celles-ci sont en général équipées de systèmes automatiques de nettoyage pour éviter leur colmatage.

Le tamissage quant à lui permet d'éliminer les objets les plus fins que ceux éliminés par le dégrillage.

I - 4 - 2 - Traitement de clarification :

La clarification est l'ensemble des opérations permettant d'éliminer les matières en suspension MES (minérales et organique) d'une eau brute ainsi que des matières organiques dissoutes. Suivant les concentrations de l'un et de l'autre des différents polluants on peut être amené à pratiquer des opérations de plus en plus complexes qui vont des simples filtrations avec ou sans réactif jusqu'à la **coagulation, floculation, décantation ou flottation, filtration**.

Donc après son passage à travers des grilles qui retiennent les matières les plus grosses, l'eau est acheminée dans des bassins dits de « **décantation** ».

Là, sous l'effet de leurs poids, les particules gravitent vers le fond ou elles se déposent.

L'eau décantée est ensuite « **filtrée** » à travers une ou plusieurs couches d'un substrat granulaire comme du sable, qui retient les particules résiduelles les plus fines pour faciliter cette étape et en particulier éliminer les particules en suspension de très petites tailles l'ajout d'un produit chimique (**un coagulant**) permet à ces particules de s'agglomérer, plus grosses et plus lourdes les nouvelles particules sont plus facilement décantées et filtrées.

On appelle ce procédé la (**coagulation / floculation**).

I-4-3 - Traitements bactéricides et virulicides :

Lorsque les eaux brutes après traitement physique préalable comportent des matières organiques dissoutes en quantités appréciable, de l'ammoniaque, du fer ou du manganèse des algues ou encore une couleur prononcée, une oxydation préalable permet d'en faciliter l'élimination par les traitements de clarification et d'affinage.

Les oxydants utilisés sont le chlore, le dioxyde de chlore, l'ozone ou encore le permanganate de potassium.

La désinfection qui se pratique en fin de traitement a pour but la destruction des bactéries et des virus ainsi que le maintien sur le réseau de distribution d'un résiduel bactériostatique destiné à éviter la prolifération de micro-organismes telles que les bactéries banales.

Il à encore, on trouve le chlore, les chlora mines, le dioxyde de chlore et l'ozone.

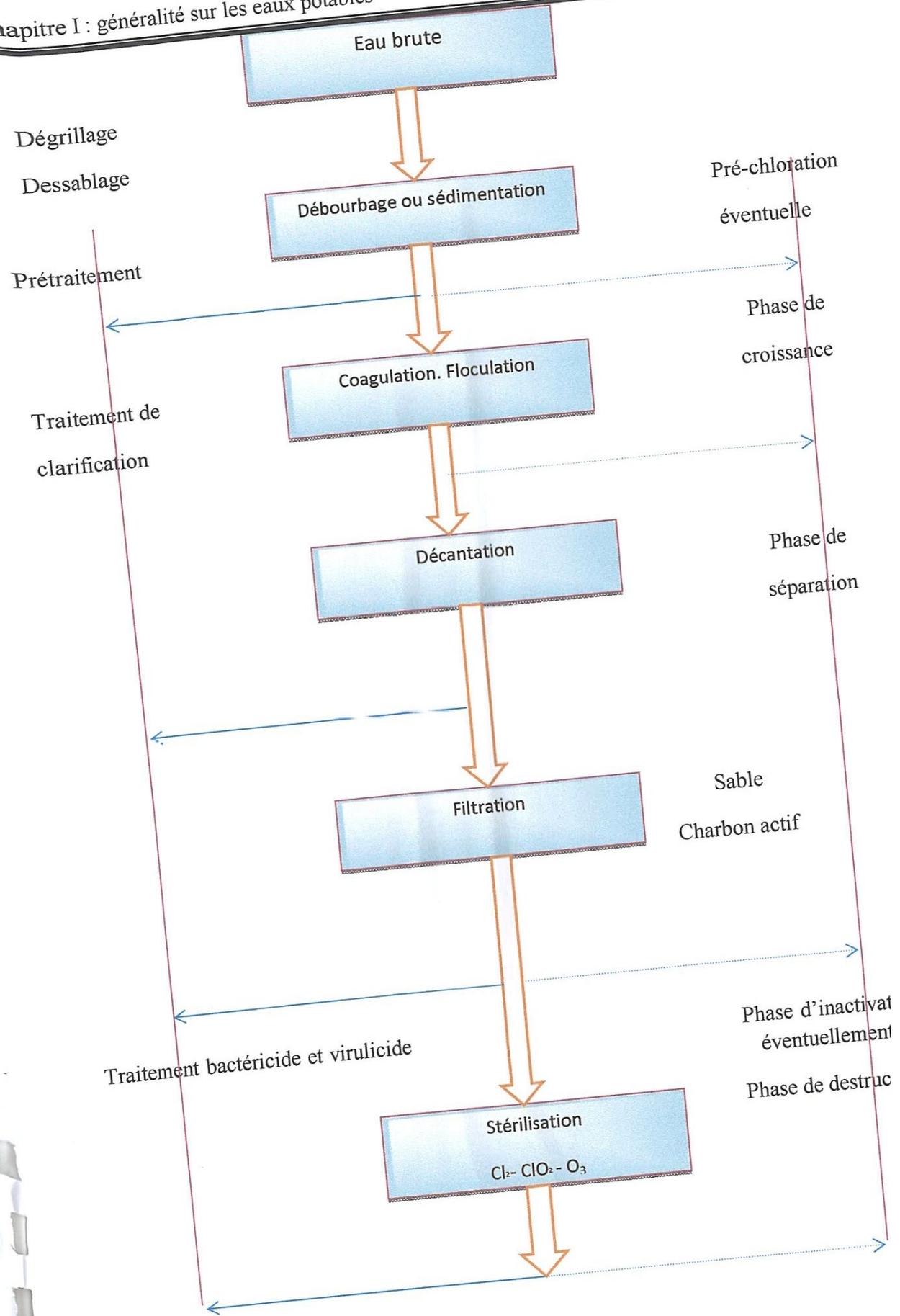


Figure I - 2: représentation schématique de la chaîne de traitement de l'eau de consommation

I - 5 - caractéristiques des eaux potables :

Nous noterons que ces caractéristiques sont différents ^{selon} suivants l'origine de l'eau brute.

L'eau brute pouvant être superficielle (rivière, lac, lavage, étang) ou souterraine (source, nappe alluviale, nappe phréatique).

I - 5 - 1 - Les caractéristiques physiques :

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

a - Limpidité :

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

b - Température :

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

c - Saveur et odeur :

Une eau de consommation humaine doit présenter un bon goût et doit être inodore, sa saveur dépend essentiellement de la quantité et la nature des corps dissous, toute présence

d'odeur est signe de pollution par des substances chimiques telle que les hydrocarbures ou organiques telles que les matières organiques de décompositions par exemple.

Les traitements de corrections consistent en :

- L'aération
- L'adsorption
- L'oxydation
- La filtration.

d) **La couleur :**

La couleur de l'eau est due aux différents éléments s'y trouvent à l'état dissous ou colloïdal. Une eau colorée pose toujours un doute à la consommation et est toujours rejetée mais une eau limpide n'est pas forcément potable.

Les traitements de corrections consistent en :

- La clarification,
- L'adsorption
- L'oxydation

e) ou bien e- **La turbidité :**

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

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

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

NTV < 5 \Rightarrow eau claire

5 < NTV < 30 \Rightarrow eau légèrement trouble

NTV > 50 \Rightarrow eau trouble.

I - 5 - 2 - Les caractéristiques physico-chimiques :

a - Le PH :

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

Le traitement de correction consiste à faire :

- élévation du PH \Rightarrow filtration sur matériaux alcalinoterreux
- Injection de réactifs basiques (chaux vive ; carbonate de Na ; Ca)

b- La conductivité :

La conductivité électrique d'une eau est le résultat de sa concentration en sels. L'élévation entraîne souvent des PH hors normes, une solidité élevée. Lorsqu'elle est due à l'excès d'ion de calcium, elle provoque l'entartrage des conduites. sa correction consiste en la déminéralisation.

C - La dureté totale :

Dit aussi hydrométrique (**TH**), sa mesure exprime la concentration globale en sel dessous de calcium et de magnésium. Lorsque le TH d'une eau est élevée, elle est dite dure et douce dans le cas inverse. Pour les besoins domestiques il est recommandé d'avoir une eau dont le TH varie entre 80 et 150mg/l de la CO_3 .

d/ **d - Acidité, alcalinité (TH, TAC) :**

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

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des hydrocarbonates, (**HCO**) carbonate (**CO₂**) et l'hydroxyde (**OH**).

- Le titre alcalimétrique ou **TA** mesure la teneur de l'eau en alcalis libres en carbonates alcalins
- Le titre alcalimétrique complet ou **TAC** correspond à la teneur de l'eau en alcalis libres, carbonates et hydrocarbonates.

1-5-3 **I - 5 - 3 - Les caractéristiques chimiques :**

a/ **a - Le calcium (Ca⁺) :**

Dans l'eau, le calcium est un composant majeur de la dureté. Les eaux potables de bonne qualité doivent renfermer de 100 à 140mg/l de calcium.

b/ **b - Magnésium :**

L'excès du magnésium, qui est un élément nécessaire au métabolisme de l'homme n'a pas d'effets négatifs comme sur la santé aux concentrations susceptibles d'être trouvées dans

l'eau de boisson, il contribue à la salinité de l'eau, donc peut activer la corrosion et par combinaison avec des sulfates confère un goût amer.

φ c- Résidu sec

C Résidu sec :

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

φ

(RFB)

I-5-4 - Les caractéristiques bactériologiques :

Une eau d'alimentation ne doit renfermer aucun germe pathogène. La mise en évidence de ces germes est alors l'indice d'une contamination d'origine fécale, et doit déclencher les mesures de protection et de stérilisation nécessaires.

RFB

Le **tableau I-1** récapitule les principales différences qui existent entre les eaux de surfaces et les eaux souterraines

φ

1-1: P en majuscule

Tableau I-1 : principales différences entre les eaux superficielles et eaux souterraines

(RFB) Table 16 suppl

caractéristiques	Eau de surface	Eau souterraine
Température	Variables suivant saisons	Relativement constante
Turbidité MES (varie un colloïdales)	Variables parfois élevée	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
couleur	Liée surtout aux MES (argile, algue) sauf dans	Liée surtout en matières en solution (acide)

Couleur

	les eaux très douces et acide	humique par exemple)
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations de rejets	Sensiblement constante en générale nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
Fe et Mn divalent (à l'état des sous)	Généralement absents sauf en profondeur des pièces d'eau en état d'anthropisation	Généralement présents
CO2 agressif	Généralement absent	Souvent présent en grande quantités
O2 dessous	Le plus souvent au voisinage de la saturation absent dans le cas d'eaux très polluées	Absent la plupart de temps
H2S	Généralement absent seulement dans les eaux polluées	Souvent présent
NH4	Présent seulement dans les eaux polluées	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	Peut abondant en générale	Teneur parfait élevée
Silice	Teneur en générale modérée	Teneur parfois élevée
Micropollution	Présent dans les eaux du	Généralement absentes

minéraux Et organique	pays développés mais susceptible de disparaître rapidement après suppression de la source	mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Elément vivants	Bactéries dont certaines pathogènes) virus plancton (Amal et végétal)	fréquente
Solvant chlores caractère eutrophie	rarement présent fréquent accentue par les températures élevées	Souvent présents non

I - 6 - Norme de qualité et de potabilité :

Jusqu'au début du siècle on déterminait si une eau était potable à partir des seuls sens l'eau devait ainsi être agréable au goût ; dépourvue d'odeur désagréable et limpide. Ce type sommaire d'évaluation a conduit dans plusieurs cas à des catastrophes, aujourd'hui on mesure plutôt les caractéristiques les plus appropriées et on les compare à des normes. Ces normes ne sont pas définitives étant donné que le déversement des eaux usées industrielles augmente la quantité et la diversité des produits toxiques présents dans une eau. De plus, les développements en microbiologie ; en chimie analytique et en épidémiologie permettent de mieux cerner les effets de différentes qualités d'eau sur la santé humaine. Les normes, c'est-à-dire les concentrations maximales acceptables et les modalités d'application sont différentes d'un pays à l'autre.

Références Bibliographiques

Tableau I-2 : Normes européennes de potabilité des eaux

paramètres	CMA	Effets indésirables
chlore	0,2- 0,6 mg/L	< 0,2 peu efficace sur la désinfection >1 peut entrainer des effets cancérogènes
PH	6,5- 8,5	Ph acide corrosion des conduites Ph basique diminue l'efficacité de la désinfection
Turbidité	5NTU	Protège les micro-organismes contre les effets de la désinfection
Nitrates	50mg/l	Risque de méthémoglobinémie, infantile
Nitrites	0,1mg/l	Risque de méthémoglobinémie, infantile
Azote ammoniacal	0,5mg/l	Favorise le développement de certaines bactéries génératrices de mauvais gout
Résidu sec	2000mg/l	Gout désagréable
Calcium	200mg/l	Entartrage des conduites
Magnésium	150mg/l	Combiner au So4 génère un gout désagréable.
Dureté total(TH)	500mg/l de CaCO3	Entartrage des conduites, consommation excessive du savon
Sodium	250mg/l	A concentration élevée ; gêne les hypertendus
Potassium	15mg/l	Entraine le gout désagréable

Chlorure	600mg/l	Saveur désagréable, effet laxatif, corrosion de conduite
Sulfates	400mg/l	Trouble gastro-intestinaux, corrosion de conduite
Aluminium	0,2mg/l	Désordre neurologique
Cuivre	1mg/l	Saveur désagréable, tache ligne et la plomberie domestique
Fer	0,3mg/l	Saveur désagréable, tache ligne et la plomberie favorise le développement des bactéries
Manganèse	0,5mg/l	Saveur désagréable, tache ligne et la plomberie favorise le développement des bactéries
Cadmium	0,05mg/l	Maladie d'ITAI- ITAI
Chrome	0,05mg/l	Nécrose de la fois, néphrite
Cyanures	0,05mg/l	Peuvent être mortelle à dose élevée
Fluorures	1,5mg/l	Altération dentaire et fluorose du squelette
Plomb	0,05mg/l	Saturnisme
Arsenic	0,05mg/l	Trouble gastro-intestinaux, hépatique et rénaux. Troubles du métabolisme glucide-lipidique.
Mercure	0,01mg/l	Dose mortelle, 0,15 - 0,5 de chlore mercurique, trouble neurologique.
Sélénium	0,01mg/l	Carie dentaire

→ Normes O M S

→ Normes Algériens

chapitre II

Description de la station de traitement d'eau potable l'usine

"Amer ben Amer"

Description de la station de traitement
de Amer Ben Amer

Chapitre II : description de la station de traitement d'eau potable à l'usine de Amer Ben Amer

II – 1 - Généralités :

La conserverie alimentaire **AMOR BEN AMOR** (CAB) sise à la commune de Bouatti Mahmoud wilaya de Guelma a construit une annexe à la commune d'el Fedjoudj, qui sera alimenté en eau brut provenant d'Oued Seybouse par le biais du réseau d'irrigation des terres agricoles à lequel notre usine est connectée. Les eaux de l'Oued représentent généralement quatre aspects de pollution identifiés comme suit :

II – 1 – 1- Pollution domestique :

- a- Pollutions organiques : graisses déchet végétal et crément ...
- b- Pollution chimique : poudre à laver et détergent

II – 1 – 2- Pollution industrielle :

Par les rejets organiques et toxiques libérés par les industriels

II – 1 – 3- Pollution agricole :

Engrais et pesticides utilisée par les agriculteurs qui s'infiltrent dans les nappes souterraines (les déjections animales /purin ; lisier) polluants les rivières par les nitrates dissous.

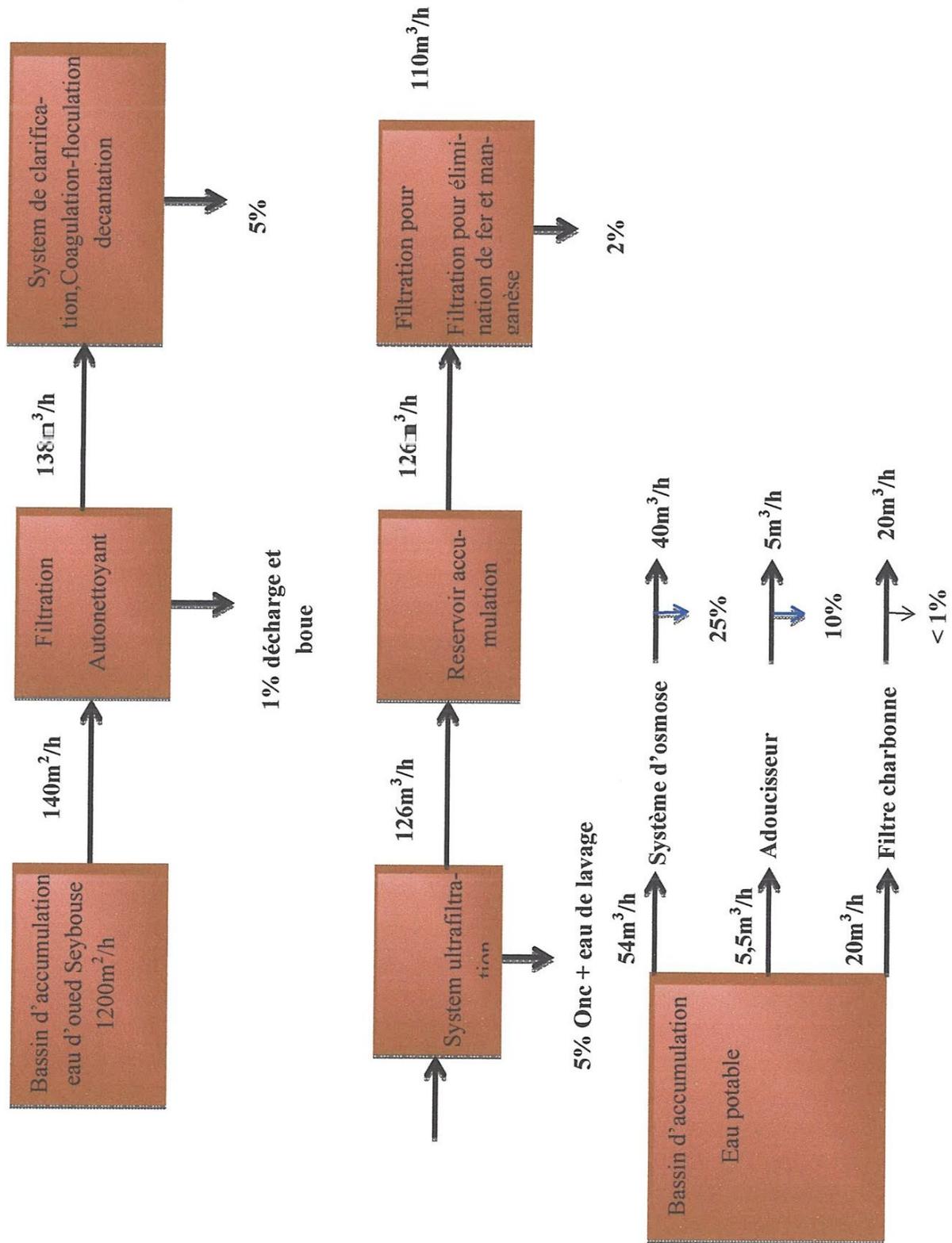
II – 1 – 4- Pollution des eaux pluviales :

Les eaux de pluie se chargent par les impuretés de l'air polluée qui entraînent les résidus déposés sur les toits et les chaussées (métaux lourds ; huiles de vidange carburants...).

En fin, pour éliminer les micropolluants classés parmi les corps dissous, on effectue un traitement dit d'**affinage**.

→ c'est quoi l'affinage

Figure II- 1: Représentation schématique de la station



II- 4 - Description des installations:

Les principales étapes de traitement sont :

- ✓ Autonettoyant
- ✓ Décanteur
- ✓ Ultrafiltration
- ✓ Déférisateur
- ✓ Osmose inverse
- ✓ Adoucisseur
- ✓ Filtre à charbon

II – 4 – 1- Autonettoyant :

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

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

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

1-Fermeture totale de l'hydro vanne soutien pression laquelle on se fermant complètement, portera la pression intérieur et extérieur du grillage filtrant a un équilibre parfait.

2-Evacuation sans circulation des impuretés retenus par le grillage à l'aide d'hydro vanne de décharge qui moyennant un by-pass, alimentera une turbine capable de conférer un mouvement circulaire à une brosse se trouvant à l'intérieur du filtre .après avoir équilibrer la pression à l'intérieur et à l'extérieur de la cartouche filtrante, les parcelles de saleté n'adhèrent plus à la paroi du grillage et, par effet du brossage et de la vitesse de l'eau en sortie crée par l'hydro vanne de décharge, le cycle complet de régénération a lieu.



Figure II-1 : Autonettoyant

2.4.2
II-4 - 2 - Décanteur :

Après l'autonettoyant, l'eau passe à travers un décanteur ou on introduit les produits chimiques suivants :

- **CHA 750**= joue le rôle d'un coagulant.
- **CHE Q 300M** (poly électrolyte) =qui joue le rôle d'un floculant.
- **La soude caustique concentration 33 %**= qui joue le rôle d'un alcalinisant.

- L'eau de javel 28-33% = comme désinfectant au niveau sédimentation.

L'eau va être mélangée avec ces produit dans la 1^{ère} phase ou la réaction va se dérouler à l'aide agitateur, on obtient dans cette phase des floccs des particules solides, qui passe à la 2^{ème} phase de décantation et de séparation l'eau va monter et les floccs vont se précipiter sur la paroi des cellules, l'eau clarifier passe au bac d'accumulation.

a- coagulation floculation :

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

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

b- Sédimentation/décantation :

Cette étape suit la coagulation et floculation et précède la filtration. Une fois le floculant ou aide coagulant injecté et mélangé l'eau, cette dernière est dirigée vers les bassins de sédimentation aussi appelées décanteur. Ce sont de gros bassins avec un temps de rétention assez élevé pour permettre au floccant qui formait la turbidité et la couleur de couler au fond du bassin et de s'accumuler pour former de la boue qui devra être régulièrement extraite pour prévenir les accumulations.

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



Figure II-2 : Décanteur

II-4 – 3 - filtration sur sable :

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

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

II – 4 – 4 - Ultrafiltrations :

Le système d'ultrafiltration UF est composé par deux unités qui peuvent fonctionnées l'un séparé à l'autre.

Chaque unité est composée par un numéro variable de membranes en fonctions du débit et de la qualité de l'eau qu'il faut traiter. Chaque membrane est posée à l'intérieur d'une vesse en fibre de verre. L'eau à traiter va traverser à l'intérieur des membranes et elle va former deux débits d'eau : le concentré qui passe au vidange et le filtré qui va être utilisé.

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

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

0.2 ppm



2-3
Figure II- 3: Unité d'ultrafiltration

2
II-4 – 5 - Deférisateur :

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

a- **Fonctionnement de système** :

Page suivante

- **Phase 1 exercice** : est la phase de la production de l'eau potable, à l'aide de deux pompes supprimeurs l'eau ultrafiltre passe au deférisateur.

Supprimeurs

- **Phase 2 contre lavage par l'air** : à l'aide d'un compresseur, l'air passe à contre-courant traverse les filtres à sable pour maintenir l'espace entre les grains de sable et facilite le passage à l'étape suivante.

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

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



Figure II- 4: Deférisateur

II-4-6- osmose inverse :

L'eau à traiter arrive de bassin d'accumulation de l'eau potable, passe par un filtre qui va retenir les particules présent dans l'eau avant de les passés aux membranes de l'osmose,

après l'eau filtré s'écoule à travers les membranes, afin de réduire la concentration de l'eau plus salée en introduit trois produits chimiques :

- **l'acide chlorhydrique** : pour maintenir le PH de l'eau osmose dans l'intervalle (6.5-7.5).
- **Méta Bisulfite De Sodium** : pour éliminer le chlore résiduel.
- **HIDROPERM** : éliminer les tartres (anti tartres).

MISE EN MARCHÉ :

- Allumer le tableau électrique ;
- Avant de démarrage du système il faut mettre les valeurs de tous les paramètres dans le clavier comme c'est écrit ;
- toucher le clavier et aller à la page de flow sheet ;
- entrer dans la section 1-CHEMICAL et mettre tous les sélecteurs en automatique ;
- entrer dans la section 3-POMPES et mettre tous les sélecteurs en automatique ;
- L'osmose démarre automatiquement s'il y a toutes les conditions de démarrage. En particulier il faut
 - 1) qu'il y a pression d'eau brute en alimentation
 - 2) il n'y pas alarmes fatales en cours
 - 3) il y niveau de l'eau osmosée bas dans le réservoir
 - 4) il n'y a pas rinçage en cours.

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

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

Lavage chimique :

a/écrire les paramètres avant le lavage chimique sur le tableau de l'osmose

- 1) refournir le bac de lavage jusqu'à 30cm du niveau maximum avec eau traitée
- 2) arrêté système à osmose inverse en tournant le disjoncteur générale en position « 0 »
- 3) insérer la prise électrique du système de lavage dans une prise 380 VAC

Lavage dernier étage :

4) connecter le tuyau flexible :

-allée de la pompe sur la vanne V13

-retour à partir de la vanne V15 au bac de lavage

-eau traitée à partir de la vanne V8 au bac de lavage

5) fermer les vannes à ballon V1-A, V1-B, V1-C, V1-D d'exclusion des modules du 1-er étage

6) fermer les vannes V3, V4 et V6, V7 d'exclusion pompes haute pression

7) fermer la vanne à épave VSP1

Démarrage lavage chimique dernier étage :

8) démarrer la pompe de lavage et vérifier que le tuyau de retour donne un bon débit

9) introduire l'électrode PH sur la surface du liquide du bac et contrôler la valeur du PH

10) si la valeur du PH est inférieure à 3.5 il faut ajouter l'acide chlorhydrique

11) attendre quelque minute pour la stabilisation du PH, si la valeur va augmenter à PH=4 il faut mettre acide pour reporter la valeur du PH reste constant pour 20-30 minute

13) arrêter la pompe du lavage

14) ouvrir les vannes V1-A, 1-B, 1-C, 1-D, fermer les vannes V13, la V15 ouvrir les vannes V3, 4,6,7

15) alimenter de nouveau le tableau électrique de l'osmose

16) presser rinçage manuel de l'osmose pour trois ou quatre fois

Lavage premier étage :

17) connecter le tuyau flexible :

-allée de la pompe sur la vanne V9 (ouverte)

-retour à partir de la vanne V13 au bac de lavage

-eau traitée à partir de la vanne V16 au bac de lavage

18) fermer les vannes V3, V4, et V6, V7 d'exclusion pompes haute pression

19) fermer la vanne à épave VSP1-RO

Démarrage lavage chimique premier étage

20) démarrer la pompe de lavage et vérifier que le tuyau de donne un bon débit

- 21) introduire l'électrode PH sur la surface du liquide du bac et contrôler la valeur du PH
- 22) si la valeur du PH est inférieur à 3.5 il faut ajouter l'acide chlorhydrique
- 23) attendre quelque minute pour la stabilisation du PH .si la valeur va augmenter a PH=4 il faut mettre acide pour reporter la valeur du PH a 3.5
- 24) répéter l'opération jusqu'à la valeur du PH reste constant pour 20 – 30 minute
- 25) arrêter la pompe de lavage
- 26) ouvrir les vannes VSP1-RO, fermer les vannes V13, la V9 ouvrir les vannes V3, 4, 6,7
- 27) alimenter de nouveau le tableau électrique de l'osmose
- 28) presser rinçage manuel de l'osmose pour trois ou quatre fois

Redémarrage de l'osmose :

- 29) ouvrir la vanne a épile VSP1-RO
- 30) connecter la vanne de l'eau traitée V16 à la vidange
- 31) ouvrir la électrovanne EV1 pour 20 minutes avec les sélecteurs des pompes haute pression en position « 0 »
- 32) fermer la vanne V16
- 33) faire le réglage de débit et de pression en référence au tableau de démarrage de l'osmose

5.3 MISE EN CONSERVATION

- a) écrire les paramètres avant le lavage chimique sur le tableau de l'osmose.
- 34) Refournir le bac de lavage jusqu'à 30 cm de niveau maximum avec eau traitée. Mettre 2kg de sodium Meta bisulfite chaque 100l système de lavage dans une prise 380VAC
- 35) Arrêter système à osmose inverse en tournant le disjoncteur générale en position « 0 »
- 36) insérer la prise électrique du système de lavage dans une prise 380VAC
- 37) connecter le tuyau flexible :
 - allée de la pompe sur la vanne V9 (ouverte)
 - retour à partir de la vanne V16 (ouverte) au bac de lavage
 - eau traitée à partir de la vanne V8 au bac de lavage
- 38) fermer les vannes V3, V4 et V6, V7 d'exclusion pompes haute pression
- 39) fermer la vanne à épile VSP1
- 40) recercler pour 10 minutes .après fermé les vannes V9etV16 et déconnecter les tuyaux de lavage

Pour faire le démarrage après mis en conservation il faut :

- allumer le tableau électrique

*à la prof
suivant*

- ouvrir les vannes V3-4 V6-7
- régler la vanne à épile VSP1-RO
- ouvrir l'électrovanne EV1-RO en manuel et attendre 1/2heure
- faire la procédure de démarrage avec la vanne V16 ouverte pour 1 heure
- fermer la vanne V16
- Anomalies de fonctionnement entretien

ENTRETIEN :

- * Entretien des vannes pneumatiques
- * Eliminer la pression de l'air des vannes ; ouvrir le couvercle après avoir enlevé les boulons de fermeture.
- * Débarrasser les membranes et l'arbre de tout résidu.
- * Graisser l'arbre avec de l'huile à la silicone et/ou compatible pour gommés EPDM

II - 4 - 7 - Adoucisseur :

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

a- Principe de fonctionnement général d'un adoucisseur :

Légende :  Résine  Sodium  Calcium  Magnésium

- Au départ la résine est saturée en ions sodium, elle est donc prête à l'emploi et peut adoucir l'eau dure.
- Au passage de l'eau dure, la résine va capter les ions calcium et magnésium (le calcaire) et les ions sodium sont libérés.

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

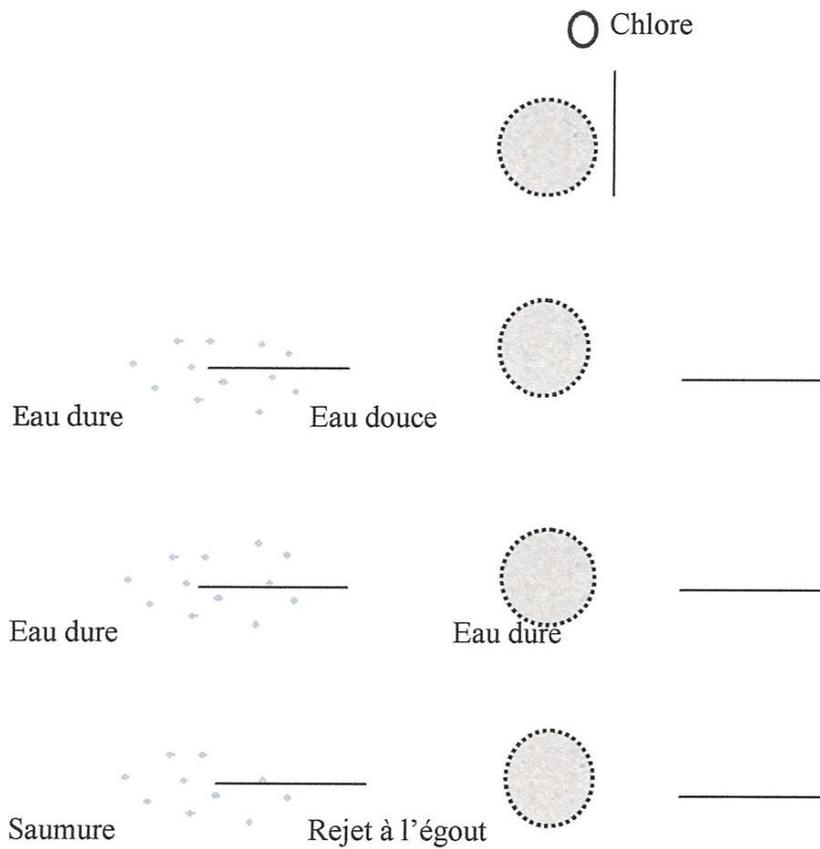


Figure II- 5:

*donner le titre
de cette figure*

II-4 – 8 - Filtre à charbon actif :

Le filtre à charbon actif est particulièrement efficace pour la captation des odeurs et polluants qui s'échappent dans l'atmosphère. Sa principale caractéristique est de pouvoir absorber de grandes quantités de COV par rapport à sa taille. En fonction de la nature des polluantes, les filtres à charbon actif seront traités pour une meilleure absorption.

II-5 - caractéristiques dimensionnelles:

II -5 - 1 - filtres autonettoyants :

Débit d'exercice d'eau	140m ³ /h
Débit maximal	150 m ³ /h
Pression de charge a filtre propre	0.3bars
Pression de charge a filtre sable	0.5 bars
Débit de lavage	10m ³ /h
Eau de lavage	eau brute
Décharge	1%

II - 5 - 2 - décanteur :

Débit d'exercice	138m ³ /h
Débit maximal	140m ³ /h
Charge hydraulique	0,68m ³ /h
Longueur	7,500m
Largeur	2,400m

à vérifier

Hauteur 3,500m

Décharge 5%

II -5 - 3 - ultrafiltration :

Débit d'exercice d'eau 126m³/h

Débit de lavage à contre Cousant 10m³/h

Commande de lavage des filtres clavier

Pression de service eau 2 à 5 bars

Décharge 5%

II -5 - 4 - déférisateur :

Débit d'exercice d'eau 110m³/h

Débit de lavage à contre-courant 10m³/h

Eau à traiter de surface prétraitée

Finesse de filtration 10 microns

Commande lavage des filtres clavier

Pression de service eau 2 à 5 bars

Fluide de service au sous pression

Pression de fluide de service 6,5 bars

Décharge 2%

II -5 - 5 - osmose inverse :

Débit entré 54m³/h

Débit de sortie 40m³/h

La perte de charge 25%

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

II -5 - 6 - adoucisseur :

Débit entré 5,5m³/h

Débit de sortie 5m³/h

La perte de charge 10%

II -5 - 7 - filtre à charbon actif :

Débit entré 20m³/h

Débit de sortie 20m³/h

La perte de charge < 1%

Pression de service eau 2 à 5 bars

II-6 - Qualités d'eau traitée :

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

L'eau traitée présentera les caractéristiques suivantes :

II – 6 – 1 - Qualité physico - chimique :

- PH 6,5 à 8,5
- Turbidité < 1NTU en exploitation normale et à 5 NTU exceptionnellement.
- Saveur acceptable et sans désagrément.
- Odeur acceptable et sans désagrément.

II-6 – 2 - Qualité bactériologique :

- Bacille Coli et coliforme absents dans 100cm³ d'eau
- Streptocoques fécaux absents dans 50cm³ d'eau

chapitre III

Aspect théorique de l'osmose inverse

Chapitre III :Aspect théorique de l'osmose inverse

III- 1 Introduction :

La pollution par osmose inverse est généralement considérée comme la plus efficace des systèmes de filtration disponible. A la base issue d'une technologie de pointe mise au point par la NASA pour purifier et recycler l'eau consommée et éliminée par les cosmonautes.

La partie la plus importante de ce type de filtration est le cœur de l'osmoseur : c'est la membrane d'osmose inverse. Cette membrane semi perméable par laquelle l'eau non traitée passe. La membrane d'un osmoseur élimine : bactéries, microbes, virus, calcaire, chlore, nitrate, métaux, produits chimiques et tout polluant présent dans votre eau de robinet ou puits, le système permet une filtration de 90 à 99%, 9% des contaminants. L'osmose inverse ne laisse passer que les molécules d'eau.

III- 2 Historique :

La perméabilité des membranes a été découverte dès le XIIIe siècle (Abbé Jean-Antoine Nollet, 1735). Cependant le développement industriel des techniques à membrane ne date que des années 1960 pour les dialyses et 1970 pour les techniques solvo-transferts. On désigne par dialyse, l'opération consistant à faire traverser des membranes par un liquide, par diffusion afin d'en séparer les constituants. L'opération de solvo-transfert consiste, en revanche à faire traverser des membranes semi-perméables par un liquide, par convention forcée, afin d'épurer le solvant.

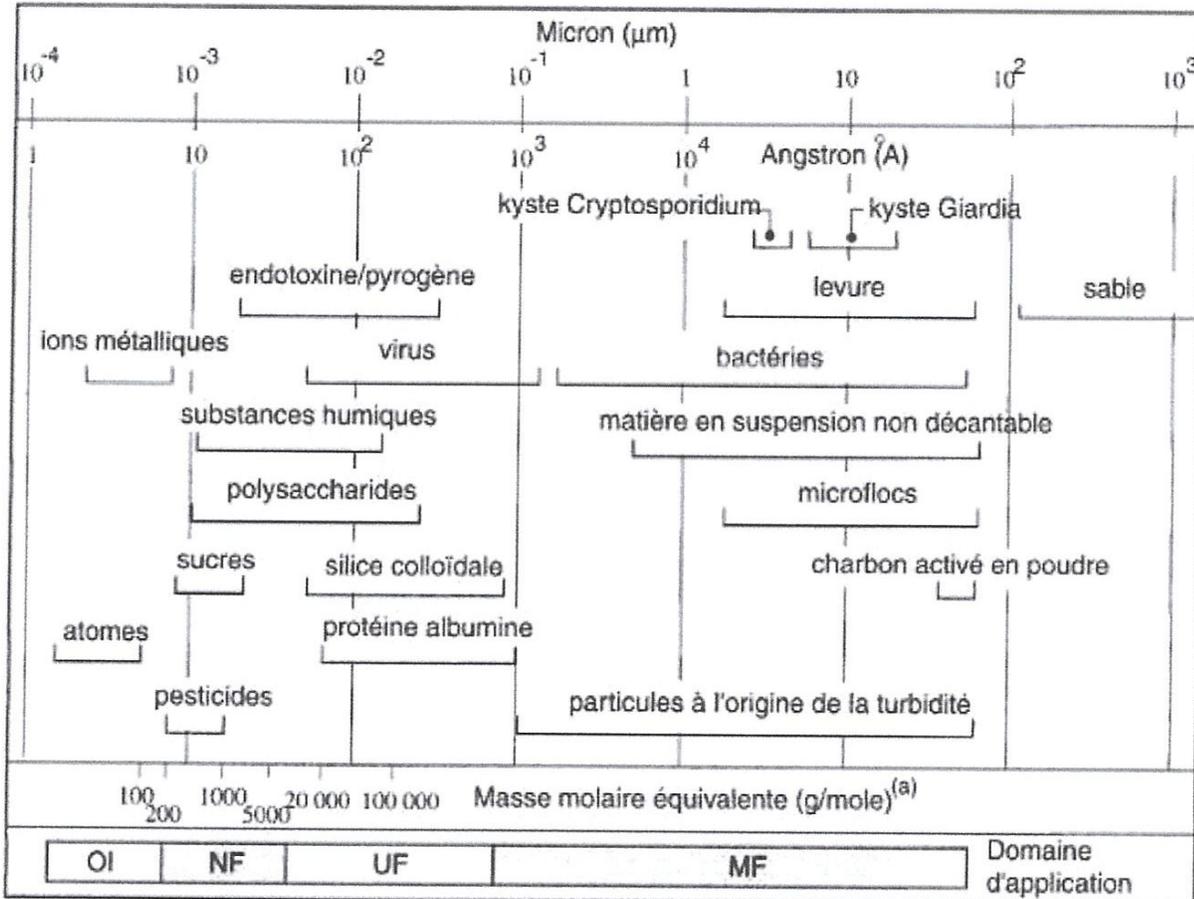
Pourquoi on utilise un système membranaire ?

Il existe de nombreuses façons d'utiliser des membranes dans la production d'eau potable ;

Les membranes peuvent constituer le cœur du traitement ou encore servir d'étape d'affichage à un traitement plus conventionnel.

Le tableau ci-dessous présente le champ d'application des différentes techniques de filtration classique et des différentes techniques de séparation par membrane...

Tableau III-1: Différents composés rencontrés dans les eaux naturelles et les techniques permettant leur élimination :



Avec :

OI : Osmose inverse

NF : Nano filtration

UF : Ultrafiltration

MF : Microfiltration

Cependant, du point de vue technologique, les deux techniques peuvent se regrouper, 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 10 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).

Les tableaux ci-après présentent les chaînes des traitements les plus fréquemment utilisées :

Tableau III 2 : Chaîne de traitement avec filtration sur membranes d'UMF.

Chaîne de traitement	Observations
Filtration sur membrane d'UMF + désinfection chimique	Utilisé lorsque le but du traitement est uniquement de réduire la turbidité et de désinfecter l'eau. Les configurations qui sont utilisées actuellement dans cette application (Amérique du Nord et Europe) sont des modules de fibres creuses et les modules tubulaire en mode de filtration tangentielle ou frontale. Des systèmes avec caissons pressurisée et des systèmes à membranes immergées sont également utilisés.
Coagulation/floculation+ filtration sur membrane d'UMF + désinfection chimique.	Utilisé lorsqu'il faut en plus de la désinfection et la réduction de la turbidité, réduire la couleur et enlever une partie de la matière organique naturelle. Actuellement, seuls des système à membranes fibres creuses immergées sont utilisés dans ce type de traitement.
Coagulation/floculation+ Décantation + filtration sur membrane d'UMF + désinfection chimique.	Cette chaîne vise les mêmes objectifs que la chaîne présentée précédemment. ce sont essentiellement des systèmes à fibres creuses qui sont utilisés dans ce type de traitement.
Oxydation +filtration sur membrane d'UMF + désinfection chimique	Utilisé essentiellement lorsqu'il est nécessaire de réaliser une oxydation du fer et/ou du manganèse, mais le même principe peut être utilisé pour d'autres contaminants qui peuvent être oxydés/précipités. Le but est de réaliser une oxydation chimique du fer et du manganèse engendrant un précipité qui pourra être intercepté par les membranes d'UMF. Plusieurs types d'oxydants peuvent être utilisés : chlore, ozone, ... Les membranes creuses et tubulaires peuvent être employées dans ce type de traitement.
Adsorption sur charbon actif en poudre + filtration sur membrane d'UMF + désinfection	S'applique plutôt aux cas où il est nécessaire des contaminants réfractaires à la coagulation/floculation mais qui peuvent être enlevés par adsorption. L'ajout de charbon actif en poudre peut être combiné avec la coagulation/floculation. Il peut être

chimique.	occasionnel ou continu. Les membranes creuses et tubulaires peuvent être employées dans ce type de traitement.
-----------	---

Tableau III 3 : Chaîne de traitement avec filtration sur membranes de NF (Nano Filtration)

Chaîne de traitement	Observation
Simple filtration sur membrane de NF	<p>Une Simple filtration sur membrane de NF peut constituer un traitement complet dans au moins deux cas :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Désinfection, réduction de la turbidité et enlèvement poussé du COD des eaux de surfaces colorées ou des eaux de souterraines sous influence d'eau de surface ; 2) Traitement des eaux souterraines lorsqu'il est nécessaire de poursuivre un ou plusieurs des buts suivants : <ul style="list-style-type: none"> • Réduction de la dureté (adoucissement, enlèvement Ca^{2+}, et Mg^{2+} ; • Enlèvement direct du fer (Fe^{2+}) et du manganèse (Mn^{2+}) ; • Réduction partielle de la salinité et/ou enlèvement partiel d'ion monovalents (Na^+, Cl^-, NO_3^-, F^-...) • Enlèvement des sulfates (SO_4^{2-}...) <p>Dans le premier cas les membranes visent un enlèvement poussé des précurseurs de formation de sous-produit de désinfection et une réduction très forte de la demande en désinfection.</p> <p>Dans le deuxième cas, les membranes visent un enlèvement direct des ions bivalents et/ou d'une partie des ions monovalent.</p> <p>Si on utilise des modules tubulaires, ou d'autre configuration qui ne possèdent de fins canaux d'écoulement tangentiel, la pré filtration n'est pas obligatoire.</p>
filtration sur membrane d'UMF + filtration sur membrane de NF	<p>La filtration sur membrane d'UMF est utilisée comme prétraitement à la filtration sur membrane de NF pour réduire la vitesse de colmatage des membranes. Cette combinaison permet :</p> <ul style="list-style-type: none"> • D'enlever la quasi-totalité des particules en suspension avec la filtration sur membrane NF ; • D'augmenter, par conséquent la vitesse de filtration ou d'espacer les lavages de membrane de NF ; • D'ajouter une barrière supplémentaire pour les micro-organismes pathogènes. <p>En revanche, les couts de construction et de production sont bien plus élevés par rapport à une simple filtration sur membrane de NF.</p>
Combinaison d'un traitement conventionnel avec	<p>On parle ici d'affinage par membrane. Cette chaine de traitement permet de traiter des eaux de surface très chargées en matière en suspension en Matière en suspension matière organique naturelle et en micro-organique pathogène. Ce traitement, d'un cout très élevée,</p>

une filtration sur membrane de NF.	permet de produire une eau de très bonne qualité à partir d'une eau brute fortement contaminée.
------------------------------------	---

Tableau III 4:Chaine de traitement avec filtration sur membranes de NUF.

<p>Les membranes de NUF ont en commun de pouvoir retenir les virus et les autres micro-organismes pathogènes. Elles permettent aussi de retenir la quasi-totalité des particules à l'origine de la turbidité. Par contre, cette catégorie de membrane couvre une large gamme de taux de séparation de Matière Organique Naturelle, allant de près de 0 à plus de 70%. Dans ce tableau, nous distinguons deux types de traitement en fonction de leur capacité à enlever la Matière Organique Naturelle soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Celles qui ne permettent pas d'enlever une fraction significative de la Matière Organique Naturelle. • Celles qui permettent d'enlever une fraction significative de la Matière Organique Naturelle. 	
<p>Chaine de traitement avec membranes de NUF ne permettent pas d'enlever une fraction significative de la Matière Organique Naturelle.</p>	<p>Ces chaines de traitement, qui font appel aux membranes NUF à plus larges pores, sont similaires aux chaines avec membranes d'UFM. Par contre, si le système membranaire est intègre, une membrane de NUF permet de priori une désinfection complète de l'eau et il ne devrait donc pas être nécessaire de procéder à une désinfection chimique en aval des membranes. Cela ne dispense cependant pas de l'étape de post-désinfection qui a pour but de maintenir une concentration minimale de désinfectant résiduel à l'entrée du réseau de distribution. Il s'agit là de la principale différence avec les membranes d'UMF. Les différentes chaines avec les membranes de NUF à large pores sont :</p> <p>Simple filtration sur membrane de NUF Coagulation/floculation+ filtration sur membrane de NUF Coagulation/floculation + décantation + filtration sur membranes de NUF Oxydation + filtration sur membrane de NUF Adsorption sur charbon actif en poudre + filtration sur membrane de NUF</p>
<p>Chaine de traitement avec membranes de NUF permettent d'enlever une fraction significative de la Matière Organique Naturelle</p>	<p>Ces chaines de traitement font appel aux membranes de NUF à pores plus fins. Elles sont similaires aux chaines avec les membranes de NF. En revanche, l'abattement de la matière organique naturelle et des ions bivalents est moins poussé que pour les membranes de NF. Les chaines de traitement avec les membranes de NUF à pores fins sont :</p> <p>Simple filtration sur membrane de NUF Combinaison d'un traitement conventionnel avec une filtration membrane de NUF</p>

III-4 Structures et équipement des membranes :

Selon la nature des matériaux constitutifs des membranes on distingue :

- Membranes organiques ;;
- Membranes minérales ou inorganique ;
- Membranes échangeuse d'ions.
- Membranes composites

III- 4- 1 Les matériaux utilisés :

Une grande variété de polymères est utilisée pour la fabrication des membranes destinées à la production d'eau potable.

Pour des raisons bien compréhensibles de protection de leur secret de fabrication, les fabricants hésitent à dévoiler avec précision la nature chimique des constituants de leurs membranes et préfèrent en indiquer les principales propriétés en termes :

- * De résistance mécanique (déterminant la durée de vie et l'intégrité des membranes) ;
- * D'hydrophilicité (déterminant la résistance au colmatage) ;
- * De stabilité chimique (résistance aux agents lavant) ;

Les dérivés de cellulose :

Les dérivés de cellulose sont constitués pour la fabrication des membranes asymétriques d'ultrafiltration, de nan filtration et d'osmose inverse.

Sous l'effet de forte pression, ils ont tendance à se compacter entraînant une diminution irréversible de la perméabilité. Ce phénomène ne se produit pas en ultrafiltration ou les pressions faibles.

Ces matériaux présentent une forte hydrophilicité garantissant une faible tendance au colmatage.

3. Membranes composites :

Apparues au début des années 1990, elles sont caractérisées par une structure asymétrique dont la peau est beaucoup plus fine que celle des membranes classiques non composites et par une superposition de plusieurs couches différenciées soit par leur nature chimiques, soit par leur état physique.

4. Membranes échangeuse d'ions :

Introduites en 1950, elles fonctionnent sur le principe du rejet d'ions grâce à leur charge. Les techniques d'électrodialyses, la dialyse est l'électrode ionisation font appel à cette technologie. Leur principal domaine d'application actuel est le dessalement de l'eau et le traitement des effluents des installations de protection et de décoration des métaux.

De nouvelles générations de membranes, notamment anioniques et bipolaires, présentant une résistance chimique améliorée sont apparues sur marché.

Ces techniques électro membranaires sont aujourd'hui au nombre de trois :

- * L'électrodialyse (ED) dite conventionnelle ;
- * L'électrodialyse à membranes bipolaires (EDMB) ;
- * L'électrodialyse à membranes (EM) ;

Le point commun de ces techniques est la mise en œuvre de membranes échangeuses d'ions permettant de transférer des ions de façon sélective sous l'effet d'un champ électrique.

- **Electrodialyse conventionnelle :**

Le terme dialyse désigne la diffusion d'ion à travers une membrane qui lui est perméable. L'électrodialyse désigne le transfert d'ions à travers une membrane qui leur est perméable sous l'effet d'un champ électrique.

- **Electrodialyse à membranes bipolaires :**

Les membranes bipolaires sont constituées d'une face perméable aux anions et d'une face perméable aux cations.

Sous l'effet d'un champ électrique, l'eau présente au cœur de la membrane est dissociée en ions H^+ et OH^- générés respectivement par les faces cationiques et anioniques.

- **Electrodialyse à membranes :**

L'électrodialyse à membranes est la technique électro membranaire dans laquelle les effets d'une électrodialyse (migration d'ion au travers d'une membrane semi-perméable) à ceux d'une électrolyse (réactions aux électrodes).

III-4 – 3 Les modules :

Les modules supportent les membranes, 4 types de modules sont commercialisés :

- * Les modules tubulaires ;
- * Les modules fibres creuses ;
- * Les modules plans ;
- * Les modules spiraux.

3 – 1 Les modules tubulaires :

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

3 – 2 Les modules fibres creuses :

Les fibres creuses sont assemblées en parallèle suivant deux configurations :

- * Configuration Int-Ext: comme c'est le cas pour les modules tubulaires, l'eau à traiter circule à l'intérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'extérieur des fibres. Il y a écoulement tangentiel canalisé à l'intérieur des fibres

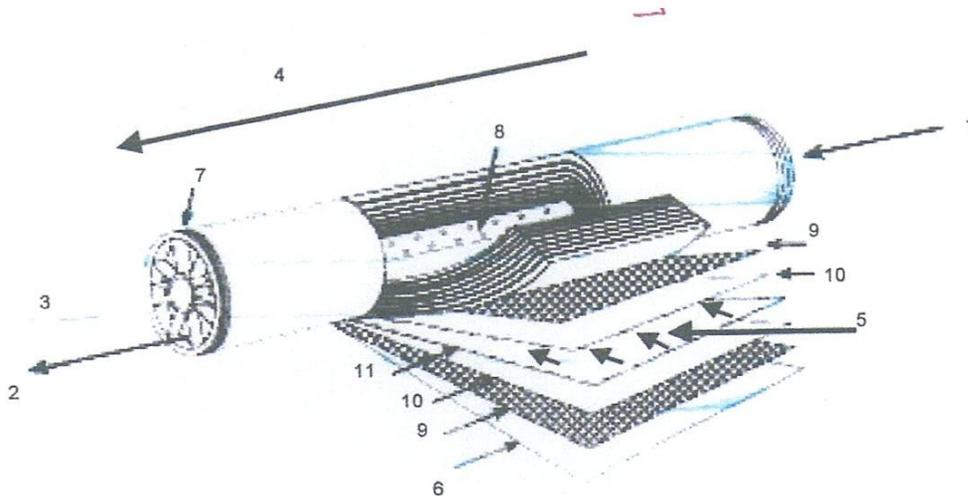
- * Configuration Ext-Int : l'eau circule à l'extérieur des fibres et le Permêt est récupéré à l'intérieur des fibres. L'écoulement entre les fibres est libre.
- * Dans ces deux cas, les membranes sont assemblées en faisceaux et leur extrémités sont noyées dans des bouchons de colle qui isolent le permet de l'eau à traiter. Un module industriel peut être constitué de dizaines de milliers de fibres.
- * Les fibres creuses supportent des rétro lavages.
- * L'écoulement à l'intérieur des fibres creuses est selon toutes probabilités, laminaire.

3 – 3 Les modules plans :

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

3 – 4 Les modules spirales :

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



1. Entrée d'eau
2. Sortie concentrat

- 3.Sortie perméat
- 4.Sens d'écoulement de l'eau brute
5. Sens d'écoulement du perméat
- 6.Matériaux de protection
- 7.Joint d'étanchéité entre module et enveloppe.
- 8.Perforation collectant le perméat
- 9.Espaceur
10. Membrane
11. Collecteur de perméat

Choix du type de module :

Les critères de choix des modules peuvent porter sur :

- * Leur capacité ;
- * La taille de leurs canaux d'écoulement tangentiel ;
- * Le dispositif qui assure l'étanchéité entre les compartiments d'eau à traiter et de perméat (lié à l'intégrité des systèmes).
- * Leur plus grande facilité de montage et de démontage.

La taille des canaux d'écoulement tangentiel a un effet sur :

L'énergie requise pour l'écoulement

- La perte de charge due à l'écoulement ;
- La facilité de désinfection et l'accessibilité à la surface des membranes ;

Tableau III -5Comparaison des différents types de modules :

	MS	FC Int- Ext	FC Ext-Int	MT
Capacité	++	+++	++	--
Facilité de nettoyage	--	--	--	++
Lavage	---	---	---	+++

mécanique				
Rétro lavage	---	+++	+++	V
Perte de charge due à l'écoulement T	++	+	+++	V
Pré filtration requise	---	+	++	+++

+++ Net avantage

--- Net désavantage

MS module spirale – Fibre creuse – Module tubulaire

III – 4 – Les différents équipements d'un système membranaires :

Un système membranaire comprend :

- * Un système de prétraitement ;
- * Des pompes ;
- * Un système d'agitation (pour les systèmes à membranes immergées) ;
- * Un ensemble de module ;
- * Un poste unitaire chimique de nettoyage ;
- * Un post-traitement chimique au besoin.

Le prétraitement vise à prévenir le colmatage prématuré des membranes et/ou des canaux d'écoulement tangentiel. Les pompes servent à bâtir la pression transmembraines. Les pompes ou un système d'agitation permettent la circulation de l'eau à traiter dans les modules ou entres les modules. La séparation est assurée dans les modules membranaires. Le post traitement chimique permet d'ajuster, ou de réajuster, la composition chimique de l'eau traitée.

Suivant la manière dont est appliquée la pression membranaire, deux types de systèmes peuvent être distingués :

- Les systèmes de filtration sous pression ;

- Les systèmes à membranes immergées.

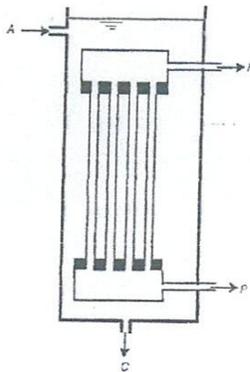
III-4-1 Les systèmes de filtration membranaire sous pression :

Dans le cas d'un système de filtration sous pression, les modules sont installés dans des caissons pressurisés. Une pompe additionnelle peut servir à la recirculation du concentrât à l'entrée des modules. L'ajustement du débit d'alimentation et l'ajustement d'une vanne, située en aval des modules, permettent de contrôler la pression transmembranaire et le taux de récupération globale. Le perméat est généralement à une pression proche de la pression atmosphérique

III-4-2 Système à membranes immergées :

Dans un système à membranes immergées, les membranes sont plongées dans un bassin alimenté avec l'eau à traiter. Le côté alimentation est soumis à une pression hydrostatique et un vide partiel est appliqué du côté perméat. L'agitation de l'eau autour des membranes (écoulement tangentiel libre) réduit l'accumulation de particules à la surface des fibres.

Dans le domaine de l'eau potable, cette configuration n'existe actuellement qu'avec des membranes à fibre creuse de types UMF.



A : Alimentation

C : concentrât

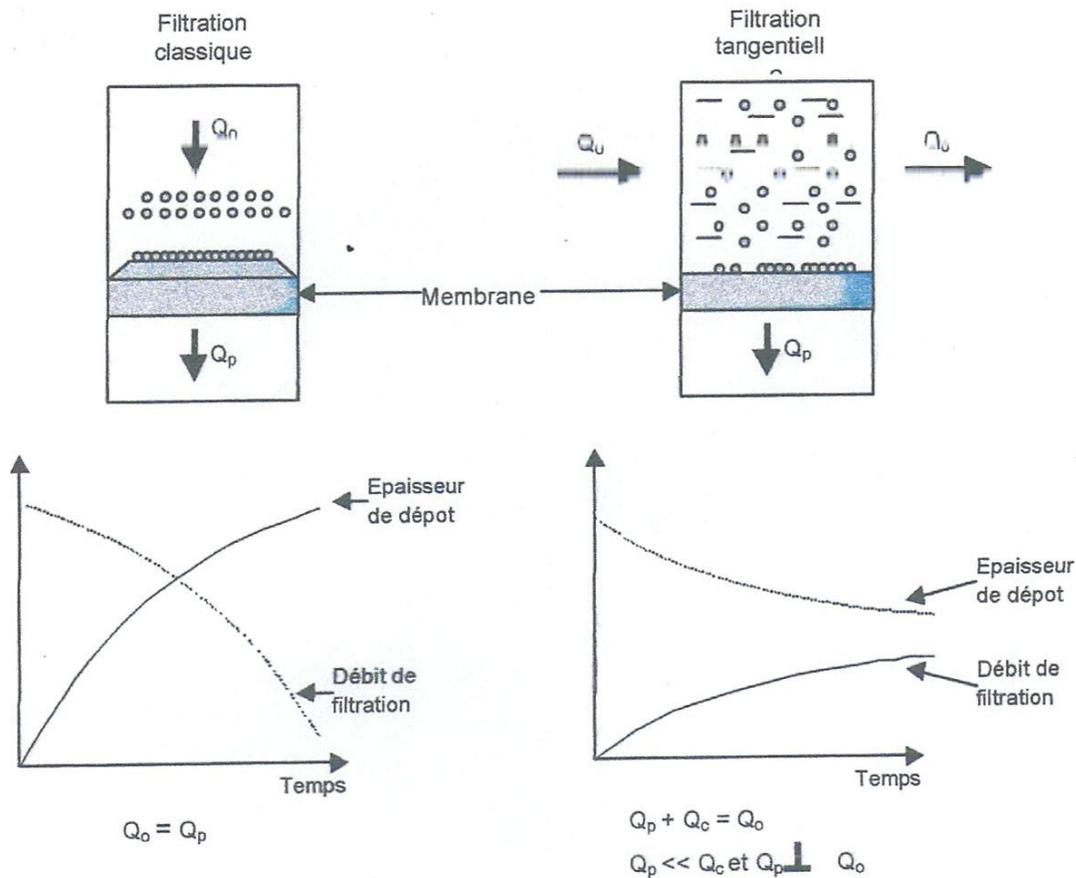
P : Permêt

III – 5 – Caractéristique principales des membranes :

Le taux de conversion et la sélectivité des membranes sont des deux grandes notions qui permettent de caractériser les membranes.

III 5 – 1 Définition du taux de conversion :

Dans le cas des techniques à membrane, l'écoulement du fluide peut être continu et tangentiel.



La solution à traiter (débit Q_o) se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes :

- ☞ Une partie qui passe à travers la membrane ou Permēt (débit Q_p) ;
- ☞ Une partie qui ne passe pas à travers la membrane, appelée concentrat ou rétentat (débit Q_c), et qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane.

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

$$Y = Q_p / Q_o \dots\dots\dots (1)$$

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

III -5- 5-2 Définition de la sélectivité :

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

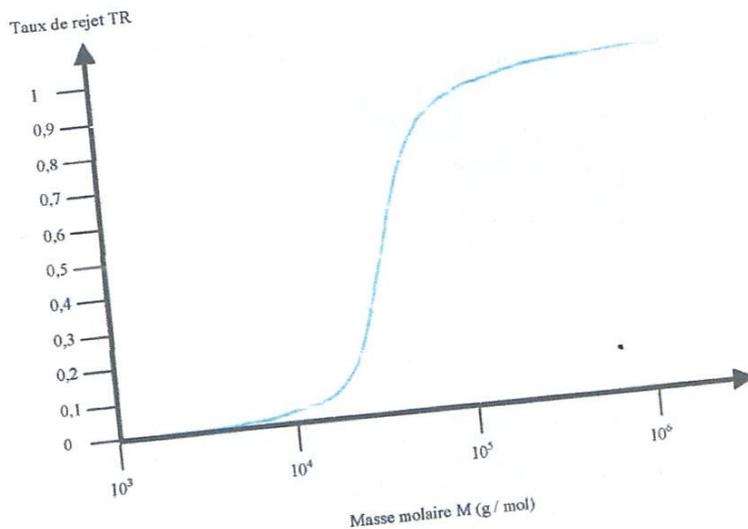
$$TR = (C_o - C_p) / C_o = 1 - (C_p / C_o) \dots\dots\dots (2)$$

Avec C_o = concentration de l'espèce à retenir dans la solution

Et C_p = concentration de la même espèce dans le perméat

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

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



Caractérisation de la sélectivité d'une membrane d'ultrafiltration

Cette notion de seuil de coupure n'a pas de sens dans le cas de l'osmose inverse. En effet, dans ce cas, des entités chimiques de même taille peuvent avoir, dans les mêmes conditions opératoires, des taux de rejets très différents. De même, cette notion n'a pas de sens en microfiltration malgré une certaine analogie sur le plan des mécanismes, les espèces retenues (micro-organismes, boue) ne pouvant être définies ni par une masse molaire ni par une taille en dehors d'un diamètre apparent ou équivalent.

Dans le cas de la microfiltration tangentielle, la sélectivité de la membrane est caractérisée en général, par son diamètre de pore (0,45 μm par exemple).

III - 6 - Colmatage et nettoyage des membranes :

Lors de la filtration, l'encrassement des membranes est inévitable, même avec un prétraitement suffisant. Le type et la quantité d'encrassement dépendent de facteurs différents, tels que :

- ↪ La qualité de l'eau alimentant le système ;
- ↪ Le type de membranes ;
- ↪ Les matériaux de la membrane ;

↪ La conception du procédé et son contrôle.

Les particules, le bio encrassement et le tartre sont les trois principaux types d'encrassement d'une membrane. De fait de ces contaminants, une charge de travail plus importante est nécessaire pour pouvoir garantir une capacité continue des membranes. Au bout d'un moment, la pression nécessaire élevée que le système n'est plus économiquement et techniquement valable : il faut nettoyer la membrane.

III 6 – 1 Prévention du colmatage :

La stratégie générale de prévention du colmatage peut prendre les formes suivantes :

- Pré-filtration ;
- Enlèvement plus poussé des particules et des colloïdes par un autre procédé membranaire ou par un traitement conventionnel ;
- Ajustement de PH (acidification) pour déplacer les équilibres de solutés des sels susceptibles de précipiter (sel de fer de manganèse, de calcium, de baryum ...).
- Ajout d'un agent antitartre pour empêcher le dépôt de sels à la surface des membranes.
- Coagulation de la matière organique naturelle. En effet, l'effet colmatant des floes est a priori, moins fort que celui des colloïdes,
- Enlèvement du Fer (Fe^{2+}) qui pourrait précipiter.

L'autre stratégie de prévention du colmatage consiste à limiter l'accumulation des agents colmatants à la surface de la membrane. La réduction de la vitesse de filtration (ou vitesse de perméation) réduit les risques de colmatage et amène à opérer les systèmes membranaires à plus faible pression transmembranaire. Cela implique d'augmenter la surface de la membrane utilisée.

L'autre manière de limiter l'accumulation des agents colmatants à la surface de la membrane est d'augmenter le rétro transport des agents colmatants vers le cœur de l'écoulement.

Le colmatage biologique peut être limité en faisant des désinfections régulières du système.

Le choix des solutions désinfectantes est alors limité par la nature des matériaux membrane.

Les stratégies de prévention du colmatage peuvent être combinées.

III -6 6-2-Techniques de nettoyage des membranes :

Le nettoyage des membranes a pour but de limiter le colmatage irréversible de perméabilité ; et par le fait même prolonger la durée de vie des membranes. Les différentes techniques de nettoyage sont :

Le rinçage ;

Le rétro lavage à l'eau ou à l'air. Les fréquences des rétrolavage varient de 15 à 60 minutes tandis que leurs durées varient que 30s à 3 minutes :

Le nettoyage mécanique avec une balle de mousse (uniquement pour les modules tubulaires et pour le colmatage dû à la matière organique naturelle des eaux de surface).

Le nettoyage chimique de la membrane (trempage et / ou circulation nettoyante).

Il est important aussi de procéder à des désinfections périodiques des systèmes membranaires (circuit/ compartiment d'alimentation et de perméat). Les notices d'emploi détiennent des recommandations précises quant aux produits à utiliser pour désinfecter les membranes sans les détériorer.

III-7- Principe de l'osmose inverse

III-7- 1/Définition :

L'**osmose inverse** est un système de purification de l'eau contenant des matières en solution par un système de filtrage très fin qui ne laisse passer que les molécules d'eau.

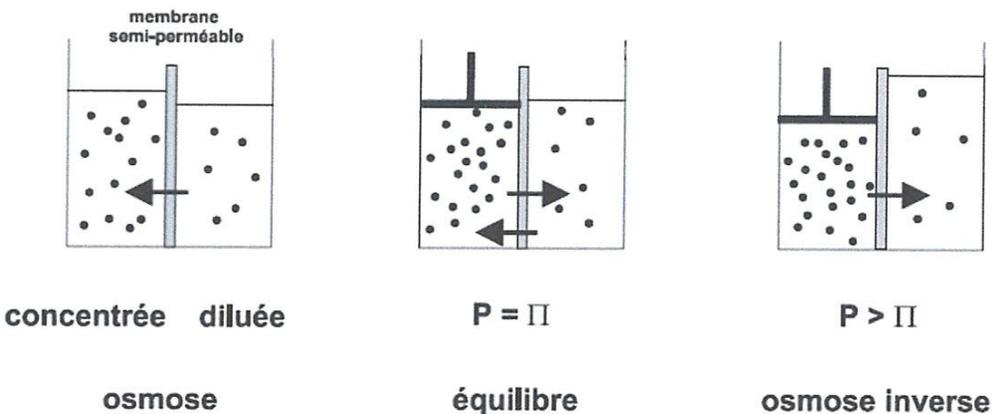
Considérons que l'eau comporte des solutés, particulièrement du sel. Si l'on met deux solutions de concentrations différentes sont placées de chaque côté d'une membrane filtrée, l'eau franchit celle-ci jusqu'à ce que les concentrations s'équilibrent : C'est le phénomène de l'osmose. En exerçant une pression hydrostatique (entre 50 et 80 bars) qui dépasse la pression osmotique et on force l'eau à franchir la membrane dans un sens, ce qui permet d'obtenir d'un côté un plus grand volume (environ 70% à partir de l'eau de mer océanique) d'une eau dont les solutés sont plus dilués (donc d'une eau plus pure), et de l'autre côté un plus petit volume d'une eau plus concentrée, qui sert de pistions.

Ce procédé a été utilisé pour la première fois par l'US NA VY pour fournir de l'eau potable aux sous-marins. Il est utilisé aujourd'hui de façon industrielle pour la purification de l'eau et le dessalement de l'eau de mer.

1-Pression osmotique:

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Si on considère un système à deux compartiments séparés par une membrane semi sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes, l'osmose se traduit par un flux d'eau dirigée de la solution diluée vers la solution concentrée.

Si on applique une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Avec une pression suffisamment forte, le flux d'eau va même s'annuler: cette pression est nommée la pression osmotique P (en faisant l'hypothèse que la solution diluée est de l'eau pure). Si on dépasse la valeur de la pression osmotique, on observe un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique: c'est le phénomène d'osmose inverse.



La pression osmotique des électrolytes est donnée par la relation suivante:

$$\Pi = i.c.R.T$$

Cette relation est valable pour les solutions diluées

Où

Π : est exprimée en pascals

i : est le nombre d'espèces d'ions constituant le soluté,

C : la concentration molaire du soluté (mol.m^{-3}),

T : la température (K)

R : la constante des gaz parfaits

Exemple:

La pression osmotique de l'eau de mer (3 % en masse de chlorure de sodium) à 25 °C est environ de 25 bars.

2/ Mécanisme diffusif:

En osmose inverse les transferts de solvant et de soluté se font par solubilisation - diffusion: toutes les espèces moléculaires (soluté et solvant) se dissolvent à travers la membrane et diffusent à l'intérieur de celle-ci comme dans un liquide sous l'action d'un gradient de concentration et de pression. Le transfert ne dépend donc plus de la dimension des particules mais de leur solubilité dans le milieu membranaire. Les séparations sont donc d'origine chimique et sont liées au pouvoir solvant de la membrane.

Le flux massique J_{solvant} ($\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) de solvant et le débit volumique de solvant ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) traversant la membrane sont donnés par les relations:

$$J_{\text{solvant}} = A \cdot \Delta P - \Delta \Pi$$

Où

A : est la perméabilité de la membrane au solvant ($\text{m}^{-1}.\text{s}$),

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

ρ : la masse volumique du solvant (kg.m^{-3}),

ΔP : la différence de pression de part et d'autre de la membrane

et $\Delta \Pi$: la différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane.

$\Delta \Pi$: est la pression osmotique du flux d'alimentation si le perméat est une solution très diluée. Les pressions sont exprimées en pascals.

Le flux massique $J_{\text{soluté}}$ ($\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) de soluté traversant la membrane est donné par la relation:

$$J_{\text{soluté}} = B \cdot (C_0 - C_P)$$

où

B : est la perméabilité moyenne de la membrane au soluté ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),

C_0 et C_P sont respectivement la concentration en soluté de l'alimentation et du perméat de part et d'autre de la membrane ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

On montre donc que le flux de solvant est proportionnel à la pression efficace

$\Delta P - \Delta \Pi$ tandis que le flux de soluté en est indépendant. On montre également que le taux de rejet d'une membrane augmente lorsque la pression efficace augmente.

4 La sélectivité des membranes d'osmose inverse pour les différentes espèces chimiques dépend de leur possibilité de solvation par l'eau. Les espèces les plus fortement solvatées ont un taux de rejet toujours plus important. On peut en tirer les indications suivantes:

- les ions sont mieux retenus que les molécules.
- les protéines ont une rétention plus faible pour des pH proches du point isoélectrique.
- pour les acides faibles, le taux de rejet est élevé lorsque le pH est supérieur à pK .
- pour des ions de valence différente, le taux de rejet croît avec la valence des ions.
- pour des ions de même valence, le taux de rejet diminue si leur masse molaire augmente.

III-7- 2 Etape d'osmose inverse :

L'osmose inverse s'effectue généralement en 5 étapes :

- L'eau du réseau passe par un pré-filtre à sédiment qui retient les plus grosses particules.
- Cette eau filtrée passe dans un pré-filtre à charbon actif ou elle est débarrassée du chlore et des composés organiques.
- Elle parvient alors sur la membrane d'osmose inverse où sont séparés le flux d'eau pure et le flux d'eau chargée de contaminant de molécule indésirable...

Le diamètre des pores des membranes d'osmose inverse sont de l'ordre du millième de micromètre. Grâce à la pression de l'eau et de la membrane, un phénomène d'osmose de l'eau se produit.

- L'eau est alors stockée dans un réservoir.
- En fin, il est possible que lorsque vous tirez de l'eau de votre robinet ou source d'eau, l'eau retransverse au préalable une cartouche de reminéralisations ou de post filtration contre les bactéries.

III-7- 3 Les avantages d'une eau osmosée :

L'eau peut être responsable de beaucoup de maladies, boire et consommer quotidiennement de l'eau ayant subi une purification par osmose et reconnue pure, elle est par conséquent idéale pour la santé, car elle ne contient aucun élément néfaste pour la santé. L'eau osmosée peut être substituée à l'achat de l'eau en bouteille. Alors si vous en avez marre de porter les paquets d'eau ...le procédé naturel ne stocke pas les contaminants, à l'inverse des filtres classiques, il est ainsi non seulement le plus efficace mais aussi le plus sûr.

III-7- 4 Les désavantages d'une eau osmosée :

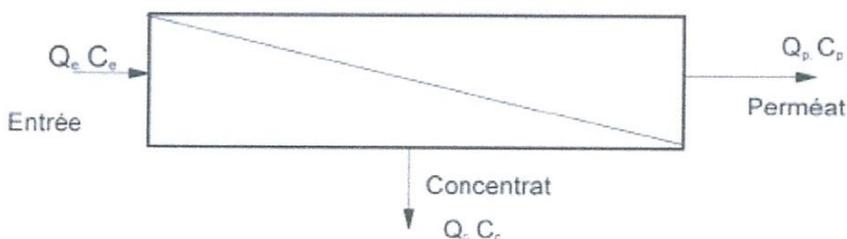
Un système de filtration par osmose inverse a un coût initial assez élevé et peut nécessiter l'intervention d'un plombier à votre domicile. La filtration est telle que quasiment tous les minéraux sont supprimés de l'eau. Il convient donc de reminéraliser l'eau après la filtration par la membrane osmotique. Autres désavantages et non des moindres pour un litre d'eau traitée quatre à cinq litres d'eau environ sont rejetés à l'égout car la membrane est « rincée » en permanence.

III-7-5 Equations fondamentales de l'osmose inverse :

Comme utilisateur ou concepteur d'installation, on n'a en principe jamais besoin de calculer un osmoseur. Toutefois il est important de connaître les équations qui régissent le fonctionnement des osmoseurs : cela nous permettra de mieux juger les offres et affirmations de fabricants, et aussi d'évaluer le fonctionnement d'un osmoseur : les écarts de débits et de conductivité seront incompréhensibles si l'on ne connaît pas les lois qui les régissent.

1 Quelques définitions :

Il est usuel de représenter un osmoseur dans un schéma sous la forme d'un rectangle avec une diagonale qui représente la membrane, comme dans la figure 5.6.



Représentation schématique d'un osmoseur ou d'une membrane d'osmose inverse

Q_e : débit d'eau entrant dans l'osmoseur

Q_p : débit perméat, ou débit d'eau passant à travers la membrane

Q_c : débit de concentrat

C_e : concentration de solides dissous dans l'eau entrant dans l'osmoseur

C_p : concentration de solides dissous dans le perméat de l'osmoseur

C_c : concentration de solides dissous dans le concentrat de l'osmoseur

1 Débit en fonction des pressions :

$$Q_e = KT * [(P_{1m} - P_{2m}) - (P_{osm1} - P_{osm2})]$$

Avec :

Qe : débit Q à travers la membrane

KT : constante donnée par le fabricant de la membrane. La valeur de cette constante varie avec la température.

P1m : pression moyenne en amont de la membrane

P2m : pression moyenne en aval de la membrane

Posm1 : pression osmotique moyenne en amont de la membrane

Posm2 : pression osmotique moyenne en aval de la membrane

En pratique on admet les approximations suivantes :

$$\mathbf{P1m = 1/2 * (Pe + Pc)}$$

$$P_{2m} = P_p$$

P_e étant la pression à l'entrée de la membrane, P_c la pression du concentrat et P_p la pression du perméat. De la même façon, on admet que :

$$\mathbf{P_{osm1} = 1/2 (P_{osme} + P_{osmc})}$$

$$P_{osm2} = P_{osmp}$$

P_{osme} étant la pression osmotique de l'eau d'alimentation de l'osmoseur,

P_{osmc} la pression osmotique du concentrat et

P_{osmp} la pression osmotique du perméat.

En pratique, $P_{osmp} \ll P_{osme}$, donc $P_{osm2} \ll P_{osm1}$, donc

$$\mathbf{(Posm1 - Posm2) \sim Posm1}$$

L'on calcule donc en général en utilisant **Posm1** en lieu et place de **(Posm1 - Posm2)**. Il faut par contre prendre garde à ne pas confondre P_{osm1} avec P_{osme} : la différence peut être importante et conduire à des erreurs importantes.

2 Rejet et recouvrement :

Pour l'utilisateur, un "bon" osmoseur est un osmoseur qui réduira le plus possible la minéralisation de l'eau et consommera le moins d'eau possible. Ces deux paramètres sont mesurés par le taux de recouvrement et le taux de rejet :

3 Définitions:

Taux de recouvrement : $R = Q_p / Q_e$

Taux de rejet (rejet) : $Rej = 1 - C_p / C_{ec}$

avec :

$$C_{ec} = 1/2 * (C_e + C_c)$$

4 Effet de la température :

$$Corr(T) = 1,03^{(T-25)}$$

ou

T : est la température de l'eau en degrés Celcius. Le débit d'une membrane ayant un débit nominal QN 25°C sera à une température T quelconque :

$$Q(T) = Corr(T) \cdot QN$$

Bilans :

Il est important de rappeler que les bilans de masse de l'eau et des solides dissous s'appliquent :

$$Q_e = Q_c + Q_p$$

$$Q_e \cdot C_e = [Q_c \cdot C_c] + [Q_p \cdot C_p]$$

L'ensemble des équations permettent de faire les calculs courant concernant la performance de votre osmoseur, comme par exemple la qualité de l'eau à la sortie, en

Connaissant le taux de rejet et la qualité de l'eau en entrée, ou bien les variations de

performances à attendre d'une variation de la qualité de l'eau, du taux de recouvrement, etc. D'autre part, il est essentiel de connaître ces équations pour évaluer l'efficacité de la maintenance d'un osmoseur.

5 Taux de rejet de différents sels :

Le taux de rejet d'une membrane ou d'un osmoseur est toujours donné par les fabricants pour du NaCl. Bien sûr l'eau comporte aussi d'autres sels dissous, et les taux de rejet peuvent varier fortement d'un sel à l'autre.

Ordres de grandeur

Taux de rejet, pour NaCl :

Polyamide : 98 à 99.7 %

Acétate de cellulose : 93 à 98 %

6 Taux de recouvrement :

Pour une membrane : 13 à 20 %

Pour une unité : 33 à 75 %

Dans une machine d'osmose inverse, l'on combine plusieurs membranes, et l'on peut aussi recycler une partie du concentrat, pour obtenir des taux de recouvrement beaucoup plus élevés que les 13 à 20% . Bien sûr cela a pour corollaire que le taux de rejet d'une machine d'osmose inverse sera toujours plus bas que le taux de rejet d'une membrane seule. En pratique, les taux de rejet pour le NaCl d'un osmoseur seront de l'ordre de 95 à 99%.

Representation schématique de l'osmose inverse

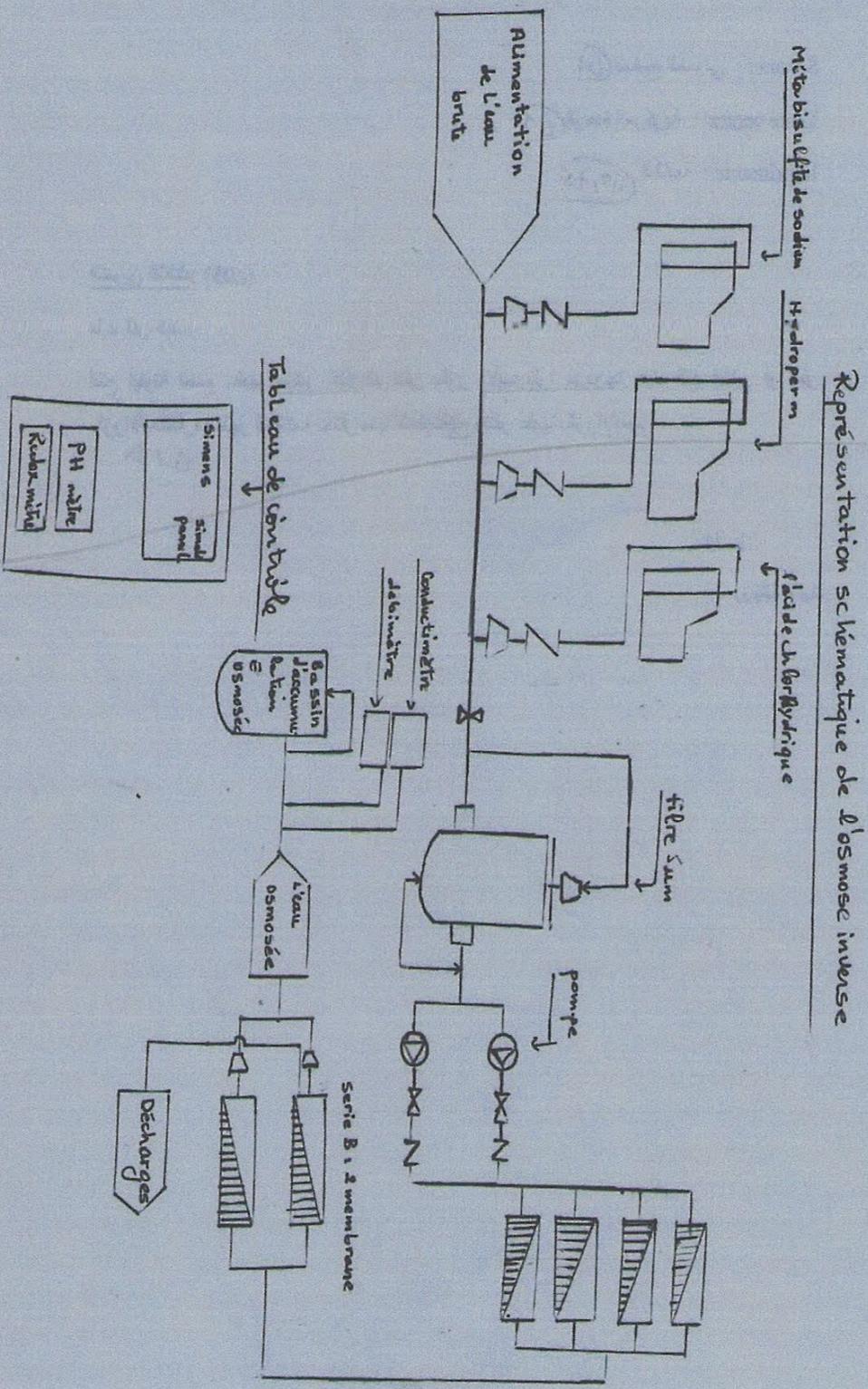


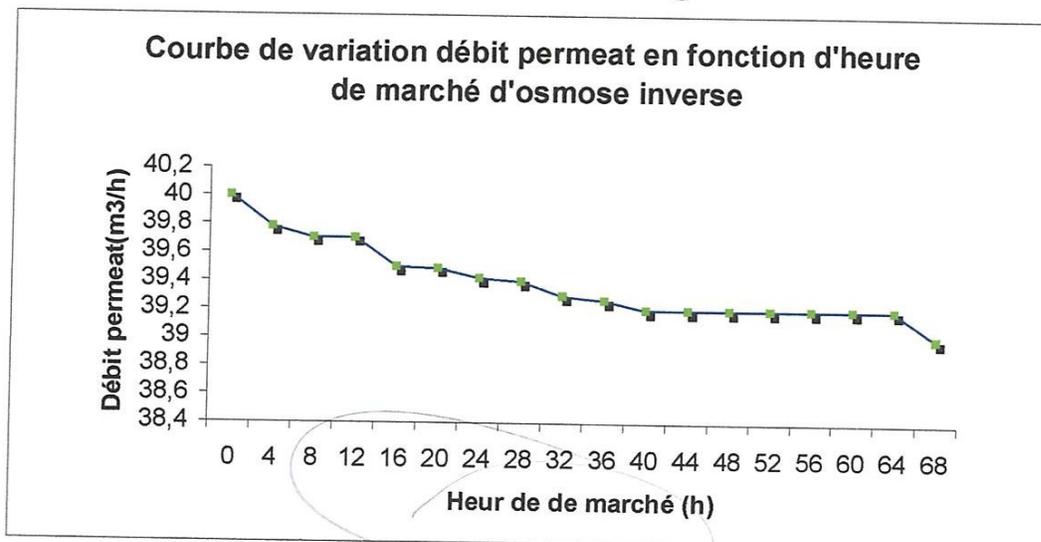
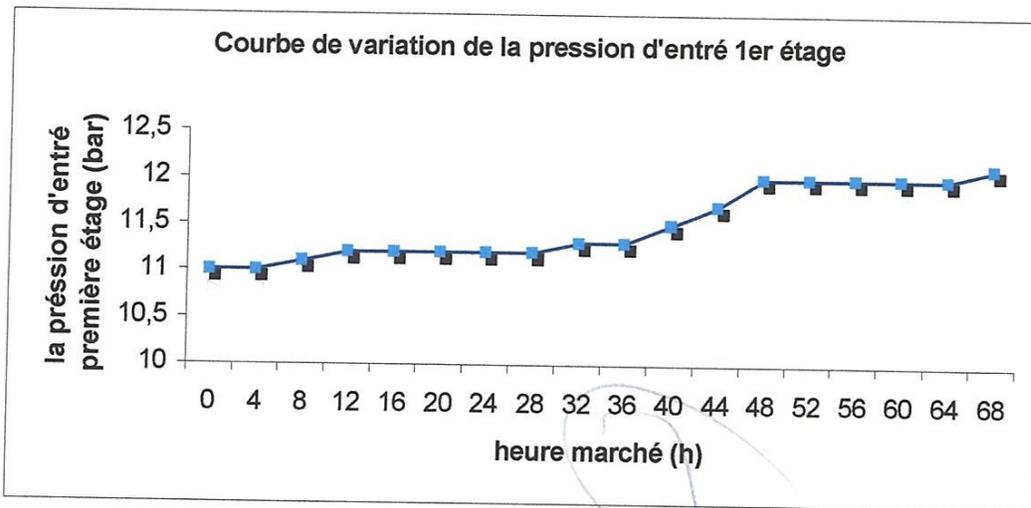
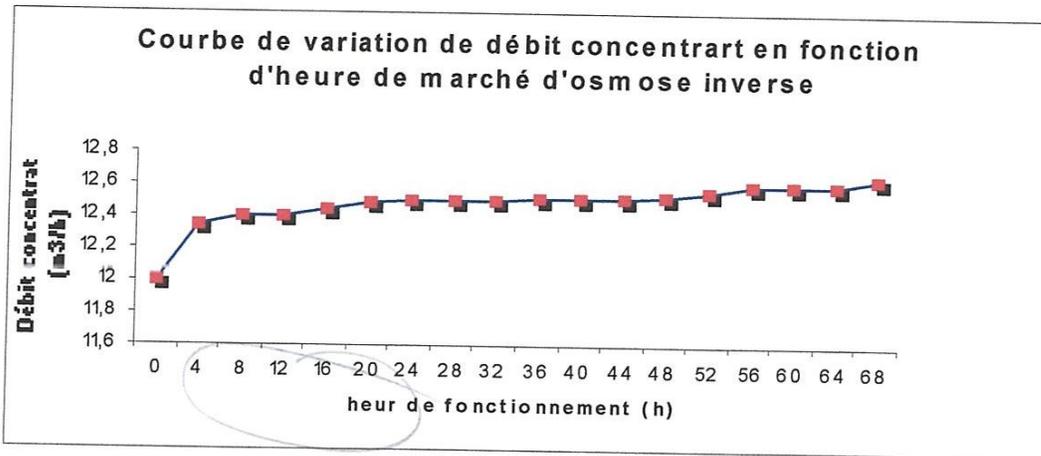
Fig 4-1;

Chapitre IV : Analyse et contrôle du système d'osmose inverse

Tableau IV-1 : contrôle système à osmose inverse. « 08/2009 »

Date	Pression Alimentation Filtré 5µm (bars)	Pression Sortie Filtré 5µm (bars)	Pression Différentielle Filtré (bars)	Redox Alimentation Osmose (mV)	PH Alimentation Osmose	Pression Alimentation 1 ^{er} étage (bar)	Pression Sortie 1 ^{er} étage (bar)	Pression Différentielle 1 ^{er} étage (bar)	Pression Sortie 2 ^{ème} étage (Déchargé)	Pression Différentielle 2 ^{ème} étage (bar)	Débit perméat m ³ /h	Débit concentrat	Conductivité µS/cm	Analyse Chlore libre alimentat ion ppm Cl ₂
Limite	>1,5	>1	0,5	250 à 400	6,8-7	<13,2	<11,9	1,2	10,7	> 1,5	40	< 13	< 100	0
08/08/2009	3.8	3.7	0.1	255	6.83	11	10	1	7	5	40	12	17.2	0
09/08/2009	3.8	3.7	0.1	245	6.88	11	10	1	8.5	1.5	39.78	12.34	18.6	0
10/08/2009	3.8	3.7	0.1	265	6.89	11.1	10	1.1	8	2	39.70	12.40	18.6	0
11/08/2009	3.8	3.7	0.1	267	6.75	11.2	10	1.2	9	1	39.70	12.40	13.7	0
12/08/2009	3.9	3.8	0.1	276	6.73	11.2	10	1.2	9	1	39.49	12.45	16.2	0
14/08/2009	3.8	3.7	0.1	288	6.91	11.2	9.7	1.5	8.4	1.3	39.42	12.48	19.4	0
15/08/2009	3.8	3.7	0.1	276	6.71	11.2	9.6	1.6	8.4	1.2	39.40	12.50	18.6	0
16/08/2009	3.7	3.6	0.1	296	6.87	11.2	10	1.2	9	1	39.27	12.50	18.9	0
17/08/2009	3.7	3.6	0.1	287	6.55	11.3	9.7	1.6	8.5	0.5	39.20	12.50	18.6	0
18/08/2009	3.7	3.6	0.1	295	6.73	11.3	9.8	1.5	8.7	1	39.20	12.51	20.6	0
19/08/2009	3.7	3.6	0.1	285	6.92	11.5	9.7	1.8	8.7	1	39.20	12.51	18.9	0
20/08/2009	3.7	3.6	0.1	270	6.67	11.7	9.8	1.9	8.8	1	39.20	12.52	19.6	0
24/08/2009	3.7	3.6	0.1	274	6.96	12	10	2	9	0.9	39.20	12.53	21.6	0
25/08/2009	3.7	3.6	0.1	284	6.86	12	9.9	2.1	9	0.9	39.20	12.56	27.1	0
26/08/2009	3.7	3.6	0.1	259	6.81	12	9.9	2.1	9	1	39.02	12.60	24.1	0
27/08/2009	3.7	3.6	0.1	337	6.84	12	11	1	10	0.9	39	12.60	20	0
30/08/2009	3.7	3.6	0.1	337	6.78	12	10.3	1.7	9.4	1.6	38.50	12.60	21.2	0
31/08/2009	3.6	3.5	0.1	300	6.83	12.2	11	1.2	9.4	1.6	38.30	12.64	19.8	0

Influence des heures de marcher du système d'osmose inverse sur le debit de concentrat la pression alimentation et débit permeat



On remarque :

- ✚ le débit de concentrat max 12,64 (m³/h) inférieur a 13 (m³/h)
- ✚ la pression allimentation 1^{er} étage max 12,12 (bar) inférieur a 13,20
- ✚ le débit permeat dans l'intervalle " 40 – 38,30" (m³/h)
- ✚ tous les paramètres précédents sont conformés aux normes de notre osmoseur

On remarque :

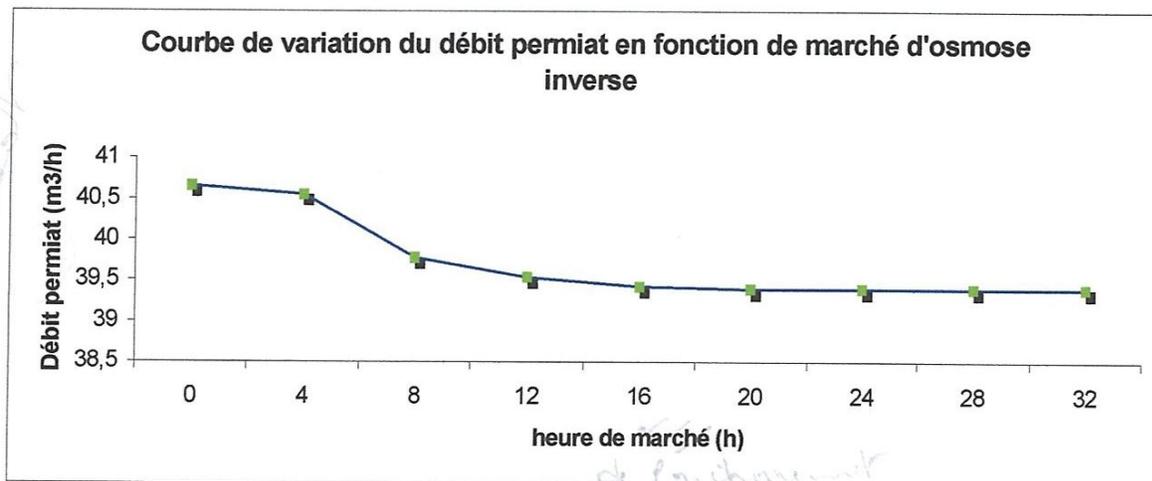
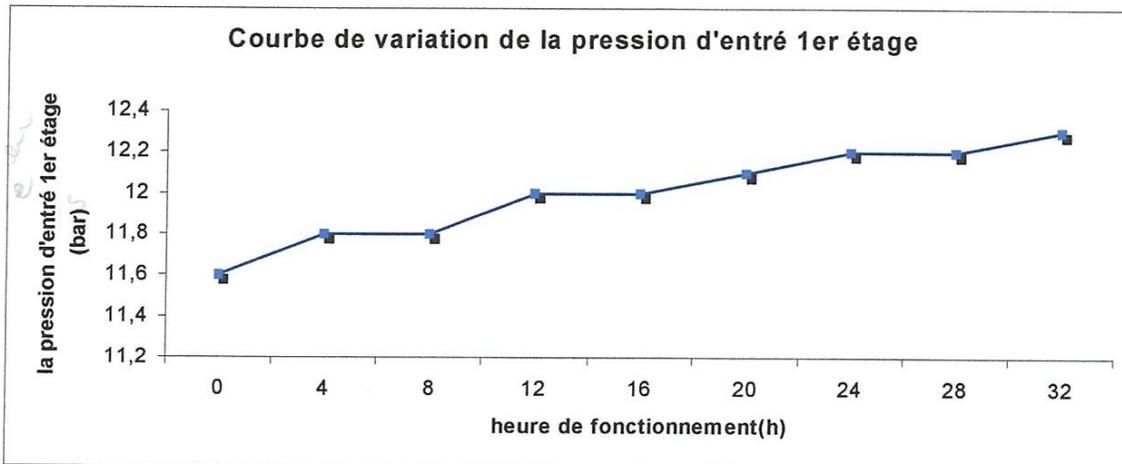
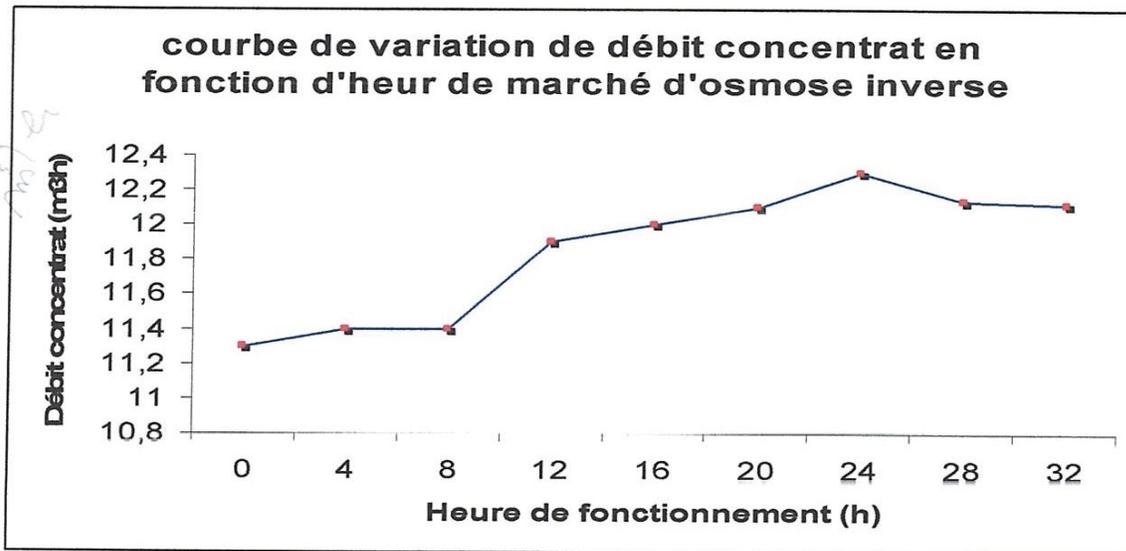
- ✚ Une augmentation de débit concentrat de la valeur 12,08 (m³/h) jusqu'à 12,88
 - ✚ Cette pression est supérieure à 13,20 (bar) après 32 heures de fonctionnement de notre osmoseur
 - ✚ Indiminition remarquable de débit permeat qui varie entre 36,72 (m³/h) jusqu'à 32,42 (m³/h)
- On peut dire après 32 heures de fonctionnement de notre osmose la membrane est colmater

Chapitre IV : Analyse et contrôle du système d'osmose inverse

Tableau de contrôle système à osmose inverse « 08/2010 »

Date	Pression Alimentation Filtrés μ m (bars)	Pression Sortie/Filtre 5 μ m(bars)	Pression Différentielle Filtre 1 (bars)	Redox Alimentation Osmose (mV)	PH Alimentation Osmose	Pression Alimentation 1 ^{er} étage (bar)	Pression 1 ^{er} étage Sortie (bar)	Pression Différentiel 1 ^{er} étage (bar)	Pression 2 ^{ème} étage (Déchargé)	Pression Différentiel 2 ^{ème} étage (bar)	Débit perméat m ³ /h	Débit concentrât	Conductivité μ S/cm	Analyse Chlore libre alimentaire en ppm cl ₂
Limite	>1,5	>1	0,1	250	6,8	13,2	11,9	1,2	10,7	1,2	40	13	100	0
01/08/10	3.8	3.7	0.1	235	6.68	11.6	17.5	0.1	16.5	1	40.66	12.10	18	
03/08/10	3.8	3.7	0.1	193	6.71	11.8	10	1.8	8.7	1.3	40.66	12.10	17.2	0
05/08/10	3.8	3.7	0.1	205	6.92	11.8	10	1.8	8.6	1.4	40.55	12.13	15	0
06/08/10	3.8	3.7	0.1	296	6.79	12	10.1	1.9	8.9	1.2	39.78	12.22	13.5	0
07/08/10	3.8	3.7	0.1	289	6.90	12	10.4	1.6	9.00	1.4	39.64	12.23	13	0
07/08/10	3.8	3.7	0.1	235	6.70	12.1	10.6	1.5	9	1.6	38.42	12.26	12.1	0
08/08/10	3.8	3.7	0.1	206	6.84	12.2	10.4	1.8	9.1	1.3	39.27	12.34	16	0
09/08/10	3.8	3.7	0.1	230	6.84	12.2	10.3	1.9	8.9	1.4	38.76	12.41	16.5	0
09/08/10	3.7	3.6	0.1	249	6.76	12.3	10.5	1.8	9	1.5	39.34	12.43	12.3	0
10/08/10	3.9	3.7	0.2	270	6.78	12.3	10.5	1.8	9.4	1.1	39.06	12.47	12	0

Influence des heures de marcher du système d'osmose inverse sur le débit de concentrat la pression alimentation et débit permeat.



Après le nettoyage de la membrane On remarque :

- ✚ le débit de concentrat max 12,47 (m³/h)
- ✚ la pression alimentation 1^{er} étage max 12,30 inférieur a 13(bar)
- ✚ le débit permcat dans l'intervalle "40,66 – 38,34" (m³/h)
- ✚ tous les paramètres précédents sont conformés aux normes de notre osmoseur