



وزارة البحث العلمي و التعليم العالي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا

Faculté des sciences et de la technologie
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES



N° d'ordre : M2 .../GP/2020

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MASTER EN GENIE DES PROCEDES

Option : GENIE DES PROCEDES DE L'ENVIRONNEMENT

Présenté Par

M^{lle} Imene BENCHAREF

M^{lle} Ikram ALLOUCH

Thème

Etude de la performance du procédé d'osmose inverse dans le traitement des eaux saumâtres dans l'industrie laitière de Sidi Saada

Soutenu le 31/08 /2020 devant le jury composé de :

Président : M. R. GHEZZAR Pr Université de Mostaganem

Examineur : A. BELHAINE MCB Université de Mostaganem

Rapporteur : H. BOUZID MCA Université de Mostaganem

Année universitaire 2019/2020

Remerciements

Au terme de ce travail, On tient à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce travail.

J'ai l'honneur et le plaisir de présenter ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à Notre encadreur M^rH. BOUZID, pour sa précieuse aide, ces orientations et le temps qu'il nous a accordé pour notre encadrement.

Nous remercions par ailleurs vivement les membres du jury, le Président M^r M.R. GHEZZAR et l'examineur M^r A. BELHAINE de nous avoir fait l'honneur de juger notre travail et d'assister à la soutenance.

Nous tenons à adresser nos plus vifs remerciements à M^r Mokhtar Djawed, chef de service du laboratoire de la laiterie Sidi Saada.

Nous remercions chaleureusement M^rMaamar Boualem, directeur de maintenance de l'unité laitière de Sidi Saada, qui a été à notre entière disposition durant notre stage au sein de la dite usine.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la concrétisation de ce mémoire

Dédicace

A mon très cher père

Pour m'avoir soutenu moralement et matériellement jusqu'à ce jour, pour son amour, Et ses encouragements. Que ce travail, soit pour vous, un faible témoignage de ma Profonde affection et tendresse. Qu'ALLAH le tout puissant te préserve, t'accorde Santé, bonheur et te protège de tout mal.

A ma très chère mère

Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études. Qu'ALLAH te protège et te donne la santé, le bonheur et longue vie.

A mes sœurs Pour leur petit mot et leur soutien.

A mon fiancé Nourine Qui a été à mes côtés tous au long de cette année et qui m'a beaucoup aidé.

En particulier à mon binôme Ikram une sœur qui a toujours veillé à me soutenir.

A toute la promo que j'aime.

Dédicace

A mes chers parents

Pour leur appui et leur encouragement, A toute mes frères et mes sœurs pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire, Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infallible, Merci d'être toujours là pour moi.

A mon binôme Imène pour tous les souvenirs pendant les années d'études ensemble surtout les deux dernières années tu a une place dans mon cœur,

Tu es plus qu'une sœur

REMERCIEMENTS

DEDICACE

INTRODUCTION GENERALE.....ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

CHAPITRE I : LES PROCEDES A MEMBRANES

INTRODUCTION..... 10

I. LES MEMBRANES 10

I.1. STRUCTURE ET PREPARATION DES MEMBRANES..... 10

I.1.1. Les membranes microporeuses 11

I.1.2. Les membranes homogènes et composites :..... 13

I.1.3. Membranes ioniques :..... 14

I.1.4. Membranes anisotropes ou asymétriques :..... 15

I.2. LES DIFFERENTES GENERATIONS DE MEMBRANES :..... 15

I.2.1. Les membranes organiques :..... 16

I.2.2. Les membranes minérales (inorganiques) :..... 16

I.2.3. Les membranes organo-minérales :..... 17

I.2.4. Les membranes fonctionnelles :..... 17

I.3. LES DIFFERENTS TYPES DE MODULES :..... 17

I.3.1. Module filtre-presse 18

I.3.2. Module plan spiralé 19

I.3.3. Module tubulaire..... 19

I.3.4. Module à fibres creuses 20

I.4. LES DIFFERENTES TECHNIQUES SEPARATIVES :..... 21

I.4.1. Osmose :..... 21

I.4.2. Osmose inverse :..... 21

I.4.3. Nanofiltration 26

I.4.4. Ultrafiltration 26

I.4.5. Microfiltration 27

I.5. LE NETTOYAGE EN PLACE DES MEMBRANES D'OSMOSE INVERSE :..... 27

CHAPITRE II : PRESENTATION DE L'UNITE LAITIERE

II. PRESENTATION DU COMPLEXE LAITIER..... 30

II.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE 30

II.2. HISTORIQUE..... 30

II.3. IDENTIFICATION..... 30

II.4. PRODUCTION..... 31

II.5. LE PERSONNEL..... 31

II.6. ORIGINE DE L'EAU 32

II.7. ÉTAPES DE PRETRAITEMENT DES EAUX BRUTES	32
II.7.1. désinfection.....	32
II.7.2. Filtration sur sable	32
II.7.3. Filtration sur charbon actif	33
II.7.4. Traitement chimique par l'anti-scalant.....	33
II.7.5. Microfiltration	33
II.7.6. Traitement final par osmose inverse	33
II.7.7. Les différents passages de l'eau traitée pour la production	36
II.8. PROCESSUS DE FABRICATION DU LAIT RECONSTITUE	36
II.8.1. Réception du lait.....	36
II.8.2. Traitement de l'eau.....	37
II.8.3. Inclusion de poudre écrémée	37
II.8.4. Agitation et recyclage	37
II.8.5. FILTRATION.....	37
II.8.6. Homogénéisation	38
II.8.7. Dégazage.....	38
II.8.8. Pasteurisation.....	38
II.8.9. Conditionnement et stockage	38
II.9. PROCESSUS DE FABRICATION DE CAMEMBERT	40
II.9.1. Schéma de fabrication de camembert	40
II.9.2. Maturisation	41
II.9.3. La coagulation.....	41
II.9.4. Tranchage.....	41
II.9.5. Moulage –égouttage	41
II.9.6. Salage.....	41
II.9.7. Ressuage.....	42
II.9.8. Affinage	42
II.9.10. Séchage et conditionnement.....	42
II.10. PROCESSUS DE FABRICATION DU FROMAGE LAIBNI	42
II.11. PREPARATION DU L'BEN ET BEURRE	42
II.11.1. Mélange des ingrédients	43
II.11.2. Pasteurisation.....	43
II.11.3. Homogénéisation	43
II.11.4. Agitation.....	43
II.11.5. Conditionnement.....	43
II.12. LES AGENTS CHIMIQUES DE NETTOYAGE UTILISES AU SEIN DE L'INDUSTRIE LAITIERE DE SIDI SAADA	44

CHAPITRE III : LE PROCEDE RO DANS L'UNITE LAITIERE SIDI SAADA

III. INTRODUCTION	46
<i>III.1. Prélèvement des échantillons</i>	<i>46</i>
<i>III.2. Performance des modules d'osmose inverse.....</i>	<i>47</i>
<i>III.3. Taux de rétention et transmission des sels</i>	<i>48</i>
CONCLUSION GENERALE.....	51
BIBLIOGRAPHIE.....	53

Annexe

Résumé

Introduction

Générale

Introduction Générale

Le lait et les produits laitiers sont des aliments incontournables, et ce dès les premiers moments de la vie. Ils apportent de nombreux éléments indispensables à l'organisme tels que le calcium, protéines, glucides et vitamines.

En conséquence l'industrie laitière en Algérie prend une place importante pour couvrir les besoin des consommateurs par la production de lait reconstitué.

Le principal composant par rapport leur quantité pour la reconstitution de lait est l'eau. L'industrie laitière a exigé des quantités d'eaux importantes mais aussi en parallèle il faut présenter des caractéristiques physico-chimiques conformes à la norme.

Ces eaux peuvent être destinées soit pour la fabrication du lait reconstitué, ou pour le nettoyage en place (cleaning-in-place « CIP ») des équipements au sein de l'usine ainsi que l'alimentation de la chaudière pour produire de la vapeur chaude qui servira à la pasteurisation du lait reconstitué.

L'industrie laitière concernée est celle de Sidi Saada-Yellel Wilaya de RELIZANE dont elle est alimentée par une eau saumâtre caractérisée par un taux de salinité élevée ce qui nécessite un traitement adéquat.

Cette industrie utilise une chaîne de prétraitement d'eau saumâtre à savoir une désinfection par le chlore pour détruire les micro-organismes vivants, une filtration sur sable pour éliminer les matières en suspension (MES), une filtration par charbon actif en grains pour éliminer le chlore résiduel nocif pour la membrane d'osmose inverse située en phase finale de traitement, l'injection de l'antiscalant pour inhiber la formation des carbonates et de sulfates de calcium qui peuvent colmater la membrane et par suite diminuer le flux de perméat et sa qualité en termes de salinité, et le procédé de microfiltration (MF) pour éliminer les MES fines, les oxydes ferriques et les bactéries. Cette chaîne de prétraitement sera complétée donc par un traitement de finition qui est l'osmose inverse (Reverse osmosis « RO ») afin d'éliminer les sels contenus dans l'eau mais avec un taux d'élimination ou de rétention variant entre 90 et 99% assurant une excellente qualité d'eau produite ou perméat. Cette eau traitée pourra être utilisée pour fabriquer le lait reconstitué, CIP et production de vapeur.

Dans le chapitre I, nous nous accentuerons sur les types de membranes, leurs structures, préparations, applications, les types de modules et leur principe de fonctionnement ainsi que leur domaine d'utilisation, sans oublier les différentes techniques séparatives.

Introduction Générale

Dans le chapitre II, nous présenterons cette industrie ainsi que ses produits finis, et ce, dans la première partie. Ainsi dans la seconde partie, nous toucherons la partie mettant en évidence le traitement des eaux brutes dans la dite industrie ainsi que les formules d'exploitation pour les calculs requis.

Dans le chapitre III, nous aborderons la performance de la technique d'osmose inverse en matière de taux de rétention de sels en comparant avec la norme du constructeur et celui obtenu l'année précédente.

Suite au problème sanitaire relatif à la pandémie COVID-19 nous étions obligés de quitter le site industriel de la laiterie Sidi Saada et par conséquent nous n'avons pu finaliser notre projet de fin d'études où d'autres paramètres de mesure de la performance du procédé d'osmose inverse tel que le taux de conversion n'a pas eu lieu.

Chapitre 1
Les procédés
à membranes

Introduction

La membrane peut être définie comme étant un film mince séparant deux phases et formant une barrière sélective pour le transport des matières (Aptel, 1998).

Les membranes sont incorporées dans un dispositif appelé module. Celui-ci se répète en un certain nombre d'exemplaires disposés selon divers arrangements dans une unité (BRUN, 1989). Le procédé de séparation membranaire est illustré schématiquement (Figure I-1). Le résultat d'une séparation membranaire est la séparation du fluide à traiter en deux parties de concentrations différentes :

- le Rétentat qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane,
- le Perméat qui contient les molécules qui traversent la membrane.

Dans ce chapitre, nous présentons les types de membranes, leurs structures, préparations, applications, les types de modules et leur principe de fonctionnement ainsi que leur domaine d'utilisation, sans oublier les différentes techniques séparatives.

I. Les membranes

I.1. Structure et préparation des membranes

On peut classer les membranes perméables en quatre catégories, correspondant approximativement à leur structure, au mécanisme du transport et à leur domaine d'utilisation (Tableau N°1).

Tableau N°1 : Les différents types de membranes perméables

Membrane	Matrice	Mécanisme	Procédés
1- Microporeuses	Pores 0.1 à 10 μ m	Filtration	Microfiltration
2- Homogènes ou composites	Dense	Solution-diffusion	Perméation de gaz, osmose Inverse, Pervaporation
3- Ioniques	Dense ou Microporeuses	Charge fixe	Electrodialyse
4- Anisotropes	Couche dense ou Ultra-microporeuse	Solution-diffusion Filtration ou mixte	Osmose Inverse, Ultrafiltration, Dialyse

I.1.1. Les membranes microporeuses

Les membranes microporeuses sont en structure et fonction très similaires à un filtre traditionnel, avec un fort vide et des pores interconnectés répartis aléatoirement.

Les tailles des pores sont de l'ordre de 0,001 à 0,1 μm . La discrimination est obtenue par la taille des pores, car toutes les particules ou molécules plus grosses que les pores sont complètement rejetées par la membrane.

Toutes les particules ou molécules plus petites que le plus petit des pores passent complètement la membrane.

Toutes les particules ou molécules de taille intermédiaire sont partiellement rejetées en correspondance avec la distribution de la taille des pores de la membrane.

Avec une membrane microporeuse, seules des particules ou molécules de tailles très différentes peuvent être séparées.

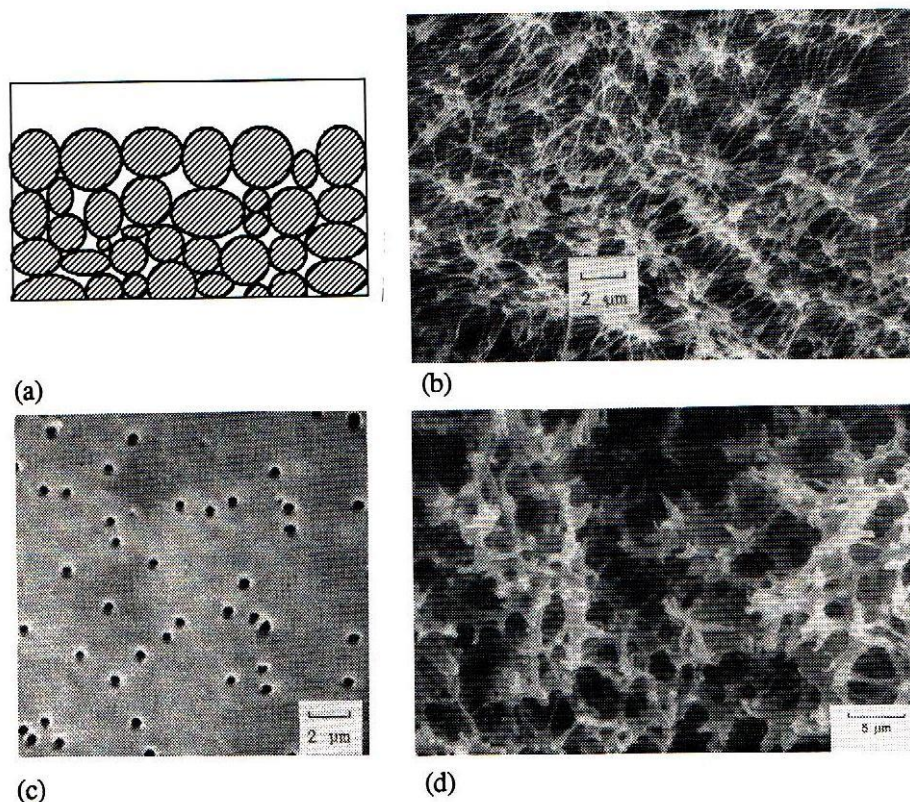


Figure N°1 : principaux types de membrane microporeuse

Les membranes microporeuse de la Figure (1-a) sont les plus classiques et sont obtenues par frittage d'une poudre de céramique, de métal, d'oxydes métalliques, de graphite ou de polymère. Elles sont utilisées pour clarifier des solutions colloïdales contenant des particules ou des micro-organismes en suspension ; la structure irrégulière des pores et leur large distribution en diamètre n'autorise pas des séparations fines.

Les membranes de la Figure (1-b) ; c'est un matériau de choix à cause de ses Propriétés importantes. Il est actuellement commercialisé sous le nom de Goretex® Pour la fabrication de vêtement de protection.

Les membranes de la Figure (1-c) sont obtenues en soumettant un film mince à un flux important des particules à haute énergie, puis à une attaque chimique pour former des cavités presque parfaitement calibrées ; ces membranes sont dites à pores capillaires. Leur porosité est fonction de la durée d'irradiation, tandis que la taille des pores dépend de celle de l'attaque chimique. Elles sont utilisées en chimie analytique et en microbiologie. A partir d'un réacteur nucléaire, l'irradiation se limite aujourd'hui à des films très minces (polyester, polycarbonate), pouvant être élaborés de manière très reproductible sous des épaisseurs de l'ordre de 20µm. En utilisant de rayonnement plus énergétiques (jusqu'à 10MeV), on pourrait irradier des films plus épais de l'ordre de 50µm.

La plus grande partie des membranes microporeuse est produite par le procédé d'inversion es sont utilisées et conviennent particulièrement pour retenir les enzymes.

Et autres micro-organismes destinés à une utilisation en biotechnologie (Brun, 1989).

Le procédé d'inversion de phase permet d'obtenir aussi des membranes à peau dense ou ultra-microporeuse.

Enfin, on voit se développer des membranes minérales, obtenues dépôt, puis par fixation des particules ultrafines d'oxydes (Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 , ...etc) ou d'hydroxyde sur un substrat macroporeux métallique ou céramique fritté, ou en carbone aggloméré.

Ce revêtement appelé 'slip casting' est réalisé par enduction superficielle du substrat à l'aide d'une solution colloïdale des particules, séchage et cuisson, selon une technique très voisine de celle...jadis utilisée pour la fabrication des vases grecs à fond blanc.

Ces membranes sont à la fois microporeuses, anisotropes, composites, et ont une stabilité thermique, mécanique et chimique élevée. Ce qui leur permet une longue durée d'utilisation et autorise leur stérilisation à la vapeur d'eau (121°C).Elles sont

Fabriquées sous forme de modules tubulaires et sont beaucoup plus utilisées en ultrafiltration.

Figure (1-d), selon lequel un polymère dissous dans un solvant est précipité par refroidissement ou par addition d'un non solvant ; on peut obtenir ainsi une structure non asymétrique, dont la porosité et les propriétés physico-chimiques dépendent de nombreuses variables inhérentes à la méthode de préparation.

I.1.2. Les membranes homogènes et composites :

On qualifie de dense tout film apparemment exempt de microporosité. La membrane dense est constituée des verres inorganiques destinés aux membranes d'électrodes de pH, et d'autres alliages métalliques comportant notamment du Palladium pour la purification d'hydrogène. Cette catégorie comprend aussi les membranes denses de polymère. Ces dernières sont obtenues par évaporation ou désolvatation d'une solution de polymère, ou par fusion, puis laminage ou extrusion.

Leur structure comprend des zones cristallines, dont la dimension va de quelques nanomètres à quelques fractions de micron, ainsi que des zones amorphes. Leur épaisseur est souvent élevée, ce qui restreint leur domaine d'application.

Les membranes composites :

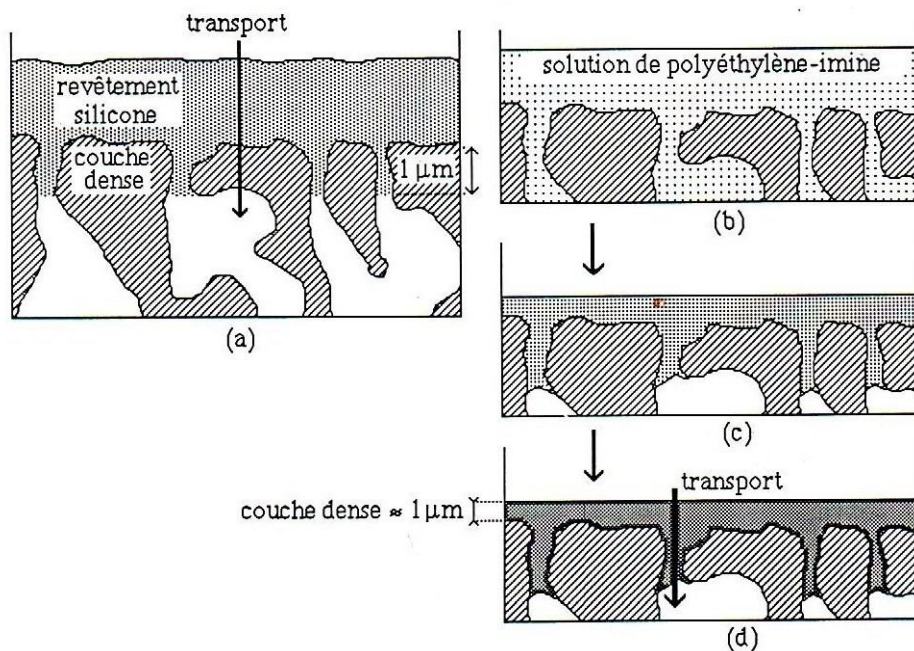


Figure N°2 : Structure des membranes composites

Ce sont des membranes à structure asymétrique qui se distinguent des précédentes par le fait que la couche mince sélective, à fine taille de pores, repose sur un support microporeux dont le rôle est d'assurer à l'ensemble de bonnes propriétés mécaniques. Ces deux matériaux peuvent être constitués de matériaux différents.

Les membranes homogène : est essentiellement un film ou une interphase **homogène** à travers lequel un mélange d'espèces chimiques est transporté par diffusion moléculaire.

I.1.3. Membranes ioniques :

Ces membranes présentent une densité de charges électriques importante. En présence d'une solution diluée d'électrolyte, une membrane ionique à tendance à exclure tous les ions de même signe que les charges fixes, la concentration interne et le nombre de transport de ces co-ions sont extrêmement réduits. La membrane se comporte comme un conducteur ioniques électif aux cations (membrane cationique) ou aux anions (membrane anionique). Par contre, lorsque la concentration de la solution externe augmente, la membrane est peu à peu envahie par tous les ions et perd sa sélectivité (BRUN, 1989).

L'application principale des membranes ioniques étant l'électrodialyse, dont le principe repose sur un transport sélectif des contre-ions.

Les propriétés des membranes ioniques :

Le domaine d'application des membranes ioniques est l'électrodialyse leurs performances est fonction des quatre propriétés suivantes :

- Une forte permselectivité
- Une conductivité élevée
- Une résistance mécanique et stabilité dimensionnelle
- Stabilité chimique et thermique

Ces propriétés sont étroitement liées à deux paramètres : La nature du polymère de base et le type de la conception des charges (capacité d'échange). Le premier paramètre influe fortement sur la résistance mécanique et chimique de la membrane.

Le tableau ci-dessous met en évidence les charges fixes les plus couramment utilisées dans les membranes (Brun, 1989).

Tableau N°2 : Principaux types de charges fixes utilisés dans les membranes ioniques.

Membranes	Sufonique	$-\text{SO}_3^-$	carboxylique	$-\text{COO}^-$
Cationiques	Phosphorique	$-\text{PO}_3^{2-}$	arsenite	$-\text{AsO}_3^{2-}$
Membranes	Alkyl- Ammonium	$-\text{NR}_3^+$	$-\text{NHR}_2^+$	$-\text{NH}_2\text{R}^+$
Anioniques	Phosphonium	$-\text{PR}_3^+$	sulfonium	$-\text{SR}_2^+$

Les cations utilisés comme charge fixe sont moins stables que les anions et, par conséquent, les membranes anioniques sont plus fragiles que les cationiques. L'ion H^+ , Na^+ , ou K^+ est généralement le contre-ion pour les cationiques et Cl^- ou OH^- pour les anioniques.

I.1.4. Membranes anisotropes ou asymétriques :

Ce sont des membranes préparées en une seule étape à partir du même matériau présentant une taille de pores et un volume poreux croissants de la face filtrante à la face externe (MAUREL, 1974).

La séparation des phases peut s'effectuer à partir d'une fine couche d'une solution homogène selon trois techniques différentes, et au Besoin complémentaire (Cryoprécipitation, Précipitation par évaporation sélective, Coagulation par immersion).

Toutes les trois donnent des membranes à structure poreuse.

I.2. Les différentes générations de membranes :

La première génération de membranes synthétiques était à base de dérivés de cellulose. Par la Suite, de nombreux polymères organiques ont été utilisés comme matériaux de base :

Polyamides, polyacrylonitriles et plus récemment, polysulfones ou polymères fluorés. La grande diversité des matériaux employés dans leur fabrication a permis un élargissement des utilisations potentielles. Citons, notamment l'obtention d'une meilleure résistance aux agents acides, basiques ou aux solvants organiques (PONTIE, 1996).

I.2.1. Les membranes organiques :

Les premières membranes synthétiques furent élaborées en matériaux organiques sur le modèle d'une membrane asymétrique. Ces membranes qui présentent une large gamme de tailles de pores (de quelque angströms à 20 nm) et de nature chimique (acétate de cellulose, polysulfone) ont contribué largement au développement de la technologie des membranes.

Toutefois, leur usage reste limité pour les raisons suivantes :

- Résistance thermique limitée.
- Sensibilité aux pH extrême et aux solvants.
- Faible résistance mécanique aux hautes pressions.
- Durée de vie moyenne (4 à 6 ans).
- Sensibilité au colmatage.

En raison de leur faible résistance thermique et mécanique, elles sont remplacées, pour certaines applications par des membranes minérales (PONTIE, 1996).

I.2.2. Les membranes minérales (inorganiques) :

Les membranes minérales possèdent une stabilité thermique, mécanique et chimique plus élevée par rapport aux membranes organiques (JAKOBS et KOROS 1996 ; APTEL, 1998 ; LEBOSSE et FUCHS, 1998). Elles sont constituées d'une ou plusieurs couches de granulométrie et de porosités différentes déposées sur un support macroporeux assurant la résistance mécanique à la pression.

Parmi les performances de ces membranes on peut citer :

- Bonne tenue thermique (au-delà de 300°C).
- Résistance mécanique élevée et l'absence de phénomène de compactage.
- Forte inertie à l'égard des solvants organiques et des milieux corrosifs (large gamme De pH).
- Bonne stabilité vis-à-vis des attaques microbiologiques.
- Durée de vie importante (10 à 15 ans).

Elles peuvent être en argile, silicate, alumine, zircon ou graphite (APTEL, 1998 ; PONTIE, 1996).

L'inconvénient majeur réside dans leur fragilité et aussi dans leur coût élevé à l'achat Comparativement aux membranes organiques.

L'utilisation industrielle des membranes minérales se limite actuellement à l'ultrafiltration et à la microfiltration, elles restent encore du domaine de la curiosité de laboratoire concernant la nanofiltration.

I.2.3. Les membranes organo-minérales :

La voie la plus fréquente pour la synthèse des membranes composites est celle du dépôt d'un Polymère organique sur un support minéral.

Toutefois, les membranes résultantes n'offrent pas de réels avantages en comparaison avec ceux des membranes organiques. Un processus plus intéressant consiste à inclure le polymère organique dans la matrice minérale. On obtient dans ce cas des performances plus spécifiques

Comme :

- une meilleure résistance aux fortes pressions.
- une meilleure résistance à l'abrasion.
- une bonne sélectivité.

I.2.4. Les membranes fonctionnelles :

- le greffage de groupements organiques à la surface d'une membrane minérale qui aboutit à la réalisation de membranes fonctionnelles destinées à des applications spécifiques de séparation (hétéropolysiloxanes, polyphosphazènes).
- la séparation de phases tridimensionnelles à porosité variable et contrôlée pour des utilisations comme catalyseurs ou tamis moléculaires.
- le dépôt de polymères organiques conducteurs.

I.3. Les différents types de modules :

Les procédés à membrane impliquent le franchissement d'une barrière immobile ou stationnaire, comme les membranes, les modules sont aussi de plusieurs types générateurs, de couches limites qui ne peuvent être vaincues que du côté des fluides.

Les exigences techniques auxquelles doit répondre la mise en œuvre des membranes dans un module peuvent être résumées de la manière suivante :

- Conditions adéquates d'écoulement, notamment le long des interfaces

Membranaires, permettant de réduire les couches limites à leur minimum ;

- Surface spécifique d'échange élevée

- Investissement minimal

- Entretien aisé

On distingue quatre types de modules dont l'importance relative aux paramètres précités dépend du procédé et du type de la séparation :

- Filtre-presse,
- plan spiralé,
- tubulaire
- fibres creuses (Maurel, 1974).

I.3.1. Module filtre-presse

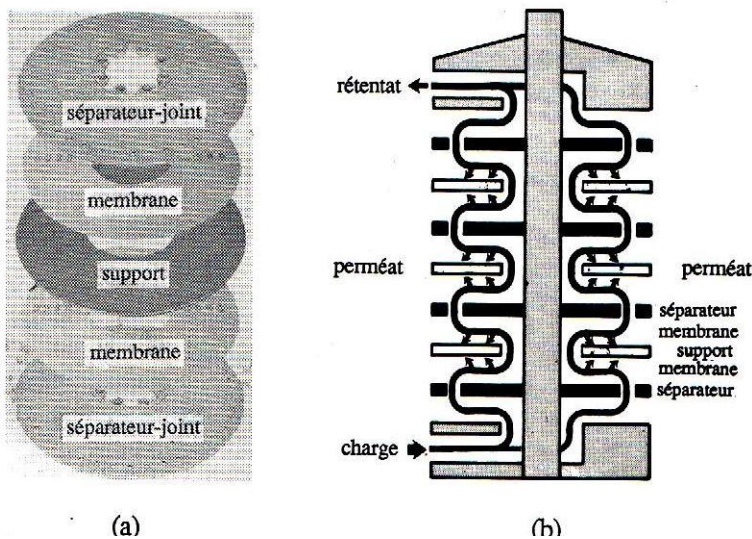


Figure N°3 : Module filtre-presse d'osmose inverse DDS-RO®- a) cellule ; b) trajet des fluides (Brun, 1989).

I.3.2. Module plan spiralé

conception des modules

107

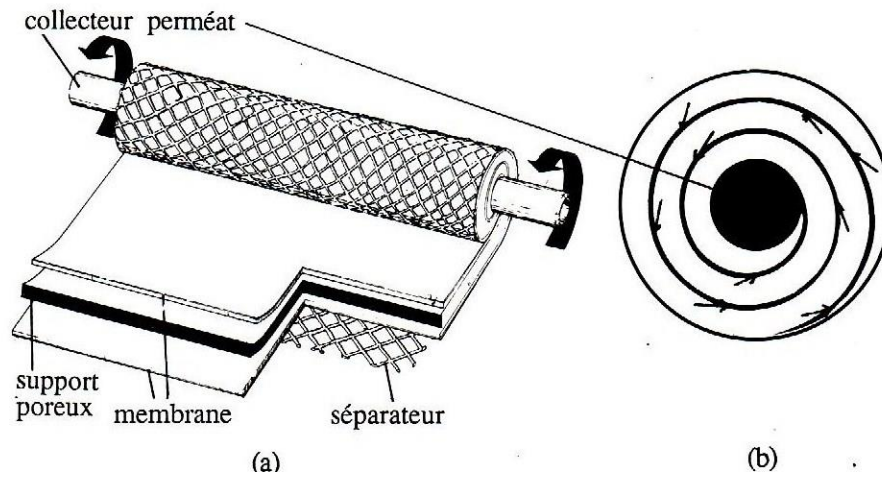


Figure N°4 : Module plan spiralé d’osmose inverse DDS SW®- a) principe de construction ; b) schéma en coupe montrant la collecte du perméat (Brun, 1989).

I.3.3. Module tubulaire

108

membranes et module

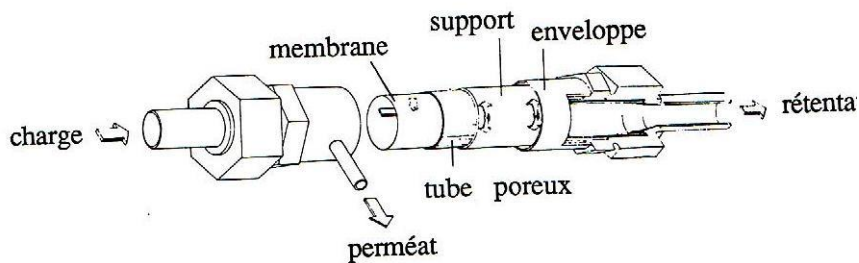


Figure N°5 : Module tubulaire (Brun, 1989).

I.3.4. Module à fibres creuses

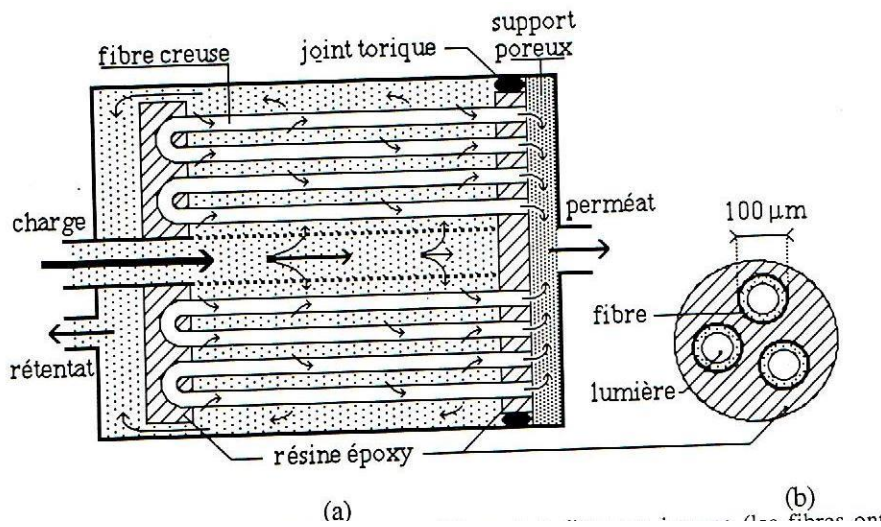


Figure N°6 : Module à fibres creuses- (a) module d’osmose inverse (les fibres ont été grossies par rapport aux dimensions du module) ;(b) agrandissement de la section du sortie du perméat, montrant l’accès à la lumière des fibres (Brun, 1989).

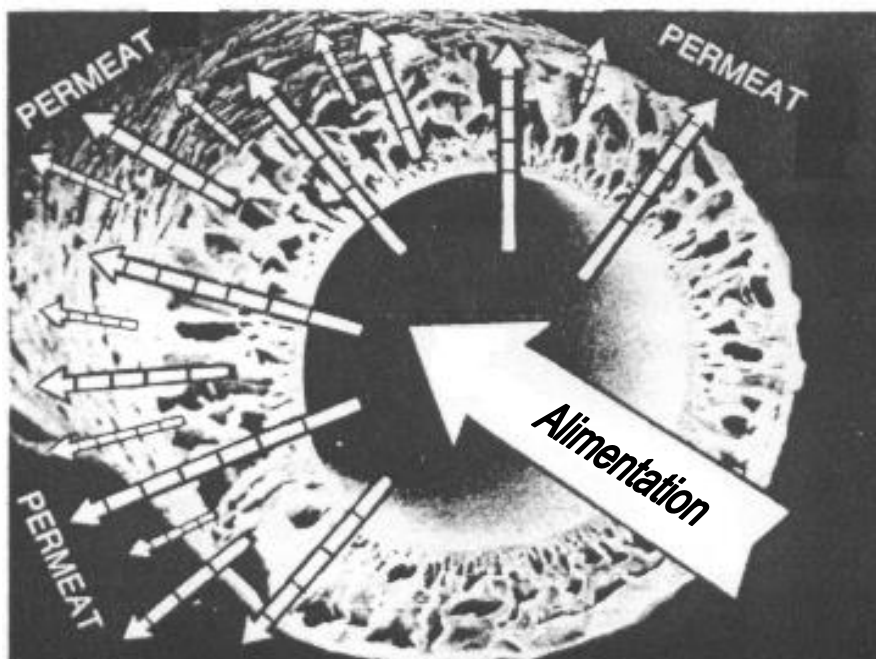


Figure N°7 : Ecoulement du fluide à travers une membrane fibre creuse (Porter, 1986)

I.4. Les différentes techniques séparatives :

Dans cette partie, nous nous intéresserons beaucoup plus à l'osmose inverse qui est une technique séparative utilisée d'une manière généralement dans le traitement des eaux saumâtres durant notre stage au sein de l'industrie laitière de Sidi Saada.

I.4.1. Osmose :

L'osmose est un transfert de solvant à travers une membrane semi-perméable (ou dense), sous l'action d'un gradient de concentration, entre des solutions situées de part et d'autre de la membrane. Le flux de solvant va du compartiment le moins concentré vers le plus concentré.

I.4.2. Osmose inverse :

I.4.2.1. Principe :

L'osmose inverse est un procédé industriel efficace de désalinisation. Avec une pression de 50 à 80 bars.

Généralement l'osmose inverse est la technique la plus utilisée dans le traitement des eaux saumâtres, eaux de mer, les effluents industriels...etc.

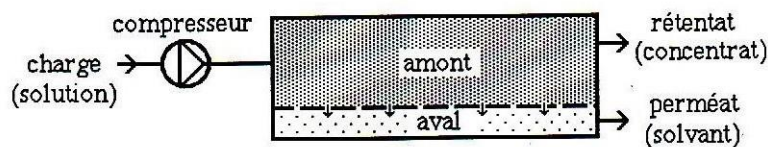


Figure N°8 : Principe d'osmose inverse (Brun, 1989).

L'osmose inverse en principe permet d'atteindre deux objectifs, selon que le produit valorisable est constitué par le perméat (a) ou par le rétentat (b) :

- Réduire la concentration totale en soluté ; les principales applications est la production de l'eau potable à partir des gisements saumâtres ou d'eau de mer, et amélioration de la qualité de l'eau à usage industriel.
- Augmenter la concentration d'une solution ; la déshydratation partielle des jus dans l'industrie alimentaire en constitue une application intéressante. Enfin, le traitement d'effluents industriels par osmose inverse permet simultanément de les débarrasser de leurs vecteurs de pollution, et de récupérer éventuellement les constituants valorisables.

I.4.2.2. Osmose inverse et Filtration :

En tenant compte de sa finalité, on peut voir l’osmose inverse comme un cas particulier, extrême, de filtration.

Ce découpage se fait selon la taille des espèces retenues par le filtre, leur masse molaire M , leur rayon du pore R_{pores} et selon le gradient de pression (Δp) nécessaire aux opérations courantes.

Tableau N°3 : Procédés mécano membranaires et rétention des membranes vis-à-vis des différents types de soluté.

Procédé	Type de membrane	Force motrice	Mécanisme et séparation	Régime de transport	Domaine d'application
Microfiltration	Symétrique microporeuse $R_{pores} = 0,1$ à $10 \mu m$	Différence de pression 0,1 à 2 bar	Tamissage dû aux pores et adsorption (Effet tamis)	Macropores	Stérilisation Filtration Clarification $M > 10^6$ g/mol
Ultrafiltration	Asymétrique microporeuse $100 < R_{pores} < 10^3 A^\circ$	Différence de pression 1 à 5 bars	Tamissage et capillarité Convection $J = L \cdot \Delta P$ (Effet tamis)	Mésopores	Filtration des macromolécules $10^6 > M > 10^3$ g/mol
Nanofiltration	Asymétrique ou composite $R_{pores} = 10$ à $20 A^\circ$	Différence de pression 5 à 30 bars	Convectif diffusionnel $J = A(\Delta P - \sigma \Delta \pi)$ (Effet tamis + effet Donnan)	Micropores	Dessalination partielle de l'eau Séparation de molécules $200 > M > 100$ g/mol
Osmose inverse	Membrane à peau superficielle asymétrique (dense) Absence de pores	Différence de pression 20 à 100 bars	Solubilisation diffusion $J = A(\Delta P - \Delta \pi)$	Moléculaire	Filtration des sels microsolutés $M < 100$ g/mol

La microfiltration concerne des particules microniques ou des colloïdes, bactéries et êtres vivants unicellulaires, ainsi que la plupart des émulsions à l'exception des virus et des enzymes, les micro-organismes présents dans une suspension biologiquement active ou dans une eau polluée peuvent pratiquement tous être éliminés par microfiltration à travers une membrane microporeuse.

L'ultrafiltration (UF) est une méthode de séparation membranaire, qui ne se distingue de la microfiltration ou de la nanofiltration que par la taille des particules en suspension ou en solution qui peuvent passer à travers.

Cette taille est trop petite pour les bactéries, levures et la plupart des virus. En pratique, l'ultrafiltration est majoritairement utilisée pour séparer des matières dissoutes alors que la microfiltration est majoritairement utilisée pour séparer des particules en suspension.

L'ultrafiltration concerne des solutions de composés ioniques ou moléculaires de masse élevée, comprise entre 1 et 1000 kg .mole⁻¹.

L'osmose inverse est également facilement accessible au particulier. Le but en est essentiellement la diminution de la dureté de l'eau, ce qui en rend l'utilisation plus agréable et protège les équipements en aval, mais aussi de supprimer les polluants (nitrates, résidus de pesticides, ...).

L'osmose inverse concerne des solutions de composés ioniques ou moléculaires de faible masse, inférieure à 100 g.mole⁻¹ (100Da). La pression osmotique est importante, et ne peut pas être négligée devant la pression opératoire (elle est de quelques bars pour une eau moyennement saumâtre, mais avoisine 2,5MPa (25bar) pour l'eau océanique, et dépasse nettement cette valeur en mer rouge ou dans le golfe persique, où sa concentration atteint 41g/L. La séparation s'effectue à l'aide d'une membrane anisotrope comportant une membrane dense, et met en jeu les propriétés d'interaction physicochimique (solubilité) et dynamique (diffusivité) des espèces dans la membrane. Le transport sélectif du solvant s'interprète donc plutôt par un mécanisme solution-diffusion que par une filtration à l'échelle moléculaire (Lonsdale, 1986).

Enfin, notons que la frontière entre ultrafiltration et osmose inverse est assez arbitraire ; on passe d'un type de membrane à l'autre en modifiant quelques-uns des paramètres de contrôle dans la technique d'inversion de phase.

I.4.2.3. Performances et Aspects énergétiques

L'intérêt technico-économique de l'osmose inverse face à un problème donné dépend essentiellement des performances que l'on peut attendre des modules, car elles conditionnent à la fois l'investissement et le coût de fonctionnement du procédé ; celui-ci est dans une large mesure représenté par son coût énergétique.

Les performances (débits et concentrations maximales du rétentat et du perméat) sont prévisibles à partir des propriétés de transport de la membrane, mais aussi des conditions du fonctionnement du module, notamment de la pression de la charge et du rendement de l'extraction.

Parmi les quatre types de module détaillés précédemment, trois sont largement utilisés : les modules filtre-presse, plan spiralé et à fibres creuses. Celles-ci sont facilement colmatables et impossible à nettoyer ; elles conviennent pour des eaux débarrassées de toute substance colloïdale et nécessite un prétraitement intensif de la charge. Les modules plan-spiralés ont une surface spécifique plus faible,

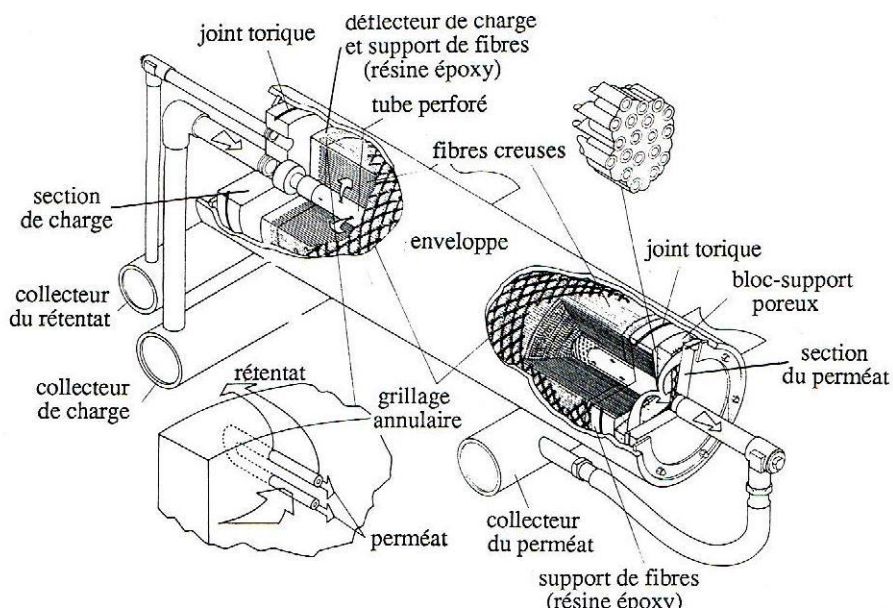


Figure N°9 : Module d'osmose inverse Permasep[®] à fibres creuses (DuPont de Nemours, 1983)

I.4.2.4. Principales Application

Le dessalement des eaux saumâtres et de l'eau de mer est l'application la plus importante (95%) de l'osmose inverse. Des applications existent dans d'autres domaines, telles que, le traitement des eaux, agro-alimentaire (déshydratation partielle de certains jus) ou le traitement des effluents industriels.

- Le dessalement : Depuis des années, un effort considérable a été fait pour produire de l'eau potable, sanitaire, ou d'irrigation dans des zones arides ou qui n'ont pas de qualité standard.

On trouve la plupart des installations en territoire Anglophone (Etats-unis, Moyen-orient, états du golfe persique), mais aussi dans le reste des continents.

L'ensemble représentait en 1980 une production voisine de 8000000m³ d'eau potable, dont 5% à partir d'eau de mer, répartie sur quelques 2000 points du globe.

La charge est d'abord filtrée, microfiltrée (5µm), puis prétraitée par ajustement du pH (inférieur ou égal à 7) et adjonction d'un inhibiteur de précipitation (antiscalant, est généralement l'hexamétaphosphate de sodium) des sulfates de calcium ou carbonates de calcium pour protéger les membranes de la dégradation chimique et du colmatage. La charge est ensuite envoyée vers le module d'osmose inverse pour suivre le traitement final de dessalement (Brun, 1989 ; Maurel, 1974).

- Traitement des eaux et des effluents :

L'osmose inverse peut être utilisée comme prétraitement à l'extraction ionique sur résine mixte. Elle permet d'améliorer la qualité d'une eau dure, en réduisant sa teneur en sels minéraux. Ce qui augmente ainsi la durée de vie des résines. Ce type d'application, peu exigeant pour les performances des membranes, assez bon marché, concerne toutes les industries où la qualité des eaux de rinçage est un facteur essentiel.

L'osmose inverse permet aussi de réduire la pollution, et de valoriser certains produits contenus dans les effluents industriels. Parmi les applications, concernant les petites et moyennes unités, citons le traitement des eaux de rinçage des industries galvanoplastique et de la pâte à papier. Mais, elle est concurrencée dans ce domaine par l'électrodialyse et surtout l'ultrafiltration.

- Déshydratation partielle des jus agro-alimentaire

Sous réserve que la pression osmotique d'un jus alimentaire reste à modérée, l'osmose inverse peut être utilisée pour le déshydrater partiellement.

L'application est toute fois limitée par le colmatage des membranes, dû à la formation des lits bactériens difficiles à éviter. Elle nécessite un contrôle strict de qualité des produits, car les méthodes usuelles de nettoyage et de désinfection endommagent le plus souvent les membranes.

La Figure N°10 représente une unité d'osmose inverse utilisée pour la déshydratation partielle des jus.

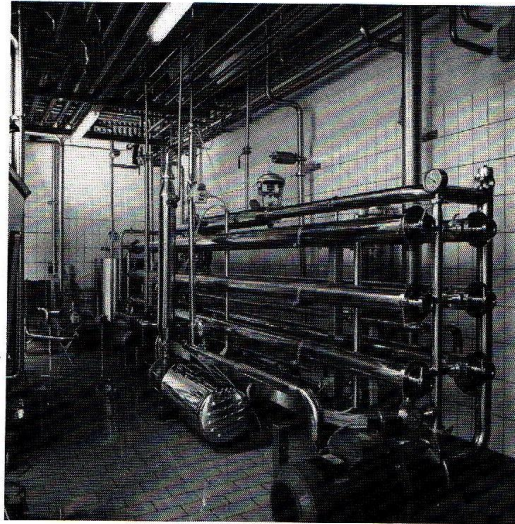


Figure N°10: Unité d'osmose inverse utilisée dans l'industrie laitière et comportant des modules plan-spiralés DDS-RO ® (Brun, 1989).

I.4.3. Nanofiltration

La nanofiltration tangentielle (NF) est une méthode de séparation membranaire qui permet l'arrêt sélectif des molécules dont la taille varie entre 100 et 10-0.5 nanomètre (nm).

La nanofiltration est un procédé de séparation membranaire situé entre l'osmose inverse et ultrafiltration.

Ses premières membranes à l'échelle industrielle, ont été obtenues par attaque chimique et dégradation de membranes initialement destinées à l'osmose inverse.

La nanofiltration n'est pas fondamentalement différente de l'ultrafiltration ou de la microfiltration, si ce n'est qu'elle retient des matières de tailles différentes de ces dernières.

I.4.4. Ultrafiltration

L'ultrafiltration permet d'extraire le solvant et les solutés ioniques ou moléculaires d'une solution contenant des macrosolutés. Le mécanisme de séparation est plus complexe qu'en osmose inverse et la pression nécessaire à l'ultrafiltration est nettement inférieure à celle requise en osmose inverse.

L'ultrafiltration permet d'atteindre trois objectifs :

-Concentration de solutions macromoléculaires (enzymes, protéines, virus, polymères variés, polysaccharides) ;

-Rétention de macrosolutés plus ou moins nocifs ; présents généralement dans les effluents industriels ou dans l'eau destinée à usage médical.

-Fractionnement par élimination des petits solutés.

I.4.5. Microfiltration

La microfiltration peut être définie comme un procédé de séparation solide/liquide. Le mécanisme de séparation est basé sur l'effet tamis et rend possible la rétention des particules dont la taille est comprise entre 0.1 μm et 10 μm .

La microfiltration et totale ou en profondeur, constituent les deux types de microfiltration.

Les applications de la microfiltration sont fort nombreuses, mais la plus importante reste la stérilisation.

En génie biomédical, la microfiltration permet de séparer les hématies du plasma sanguin (plasmaphérèse), avec des membranes de diamètre 0.6 μm . Elle est aussi utilisée pour récupérer et concentrer les ions métalliques lourds sous forme de précipités colloïdaux d'oxyde, et bien entendu les applications déjà mentionnées en ultrafiltration, concernant les biotechnologies (Brun, 1989).

I.5. Le nettoyage en place des membranes d'osmose inverse :

Les systèmes de nettoyage membranaire sont conçus pour nettoyer les membranes de tout système d'osmose inverse, de nanofiltration et d'ultrafiltration sans les démonter du système membranaire.

Le nettoyage en place se base généralement sur deux principaux mécanismes qui sont la détergence et le nettoyage : La détergence, Le nettoyage

a) la détergence : La détergence peut être décomposée en trois phases successives : le mouillage, le déplacement de la souillure, l'anti-redéposition ou maintien des espèces colmatantes à l'écart de la surface à nettoyer (vincent, 1999).

b) le nettoyage : est basé sur la réaction hétérogène entre un agent chimique de la solution de nettoyage et la matière colmatante, provoquant différentes modifications physico-chimiques : variation du pH, de solubilisation, modification de l'affinité des matières colmatantes pour la surface de la membrane ou pour elles-mêmes (agrégats), hydrolyse chimique,... Ces réactions conduisent à des produits solubles ou en suspension éliminés par l'écoulement de la solution de nettoyage.

Le cycle de nettoyage chimique des membranes se compose généralement de plusieurs étapes :

- Pré-rinçage à l'eau
- Nettoyage chimique avec différentes solutions chimiques spécifiques
- Désinfection pour tuer les micro-organismes
- Les conditions de nettoyage influent fortement sur la durée de vie des
- Post-rinçage à l'eau avant remise en production

Les conditions de nettoyage influent fortement sur la durée de vie des membranes.

Chapitre 2
Présentation
de l'unité laitière

II. Présentation du complexe laitier**II.1. Situation géographique**

Siège Social et l'usine de production située dans la commune de Sidi Saada Daïra de Yellel Willaya de Relizane.

II.2. Historique

L'architecture et les plans des bâtiments sont l'œuvre d'un bureau d'étude, l'office Régional Ouest du lait (OROLAIT) est lancer le projet (en, 1987).

Les travaux de montage ont été confiées par le constructeur ALFA LAVAL France.

Cette usine est mise en exploitation (en, 1993).

En 1997 : Passage sous la tutelle du GIPLAIT après dissolution des offices régionaux.

En 2001 : il ya un Changement de statues en filiale du Groupe Giplait (Avril).

En 2007 : Cession de la totalité des actions de la « LAITERIE FROMAGERIE SIDI SAADA Spa » à la « SARL Produits LAITIERS TREFLE ».

L'industrie laitière de Sidi Saada à Yellel – Relizane est bâtie en1993 dont son générateur constructeur était Alfa Laval (France).

Elle est créée pour la fabrication des produits laitiers traités de longues conservations (Lait, yaourt, fromage fondu, fromage frais...).

Le complexe comprend une surface totale de 98000m² en bâtis composés (Un bloc administratif, un laboratoire d'autocontrôle, station d'épuration des eaux usées...).

II.3. Identification

Forme juridique : SPA laiterie SIDI SAADA.

Capital social : 1114800000.00 DA.

Président du conseil d'administration : Mr Tlemsani Mahmoud.

Directeur Général : Abed Ben Aoumer.

N° registre de commerce : 0162565B04 du 04/01/2004.

• Laiterie Sidi Saada

Est une entreprise qui a été conçue pour la fabrication de produits laitier de longues conservation (lait, yaourt, fromage fondu, fromage frais et l'ben thermisé) et des fromages pate molle « camembert ».

Après le départ du constructeur français certains ateliers n'ont pas être mis en service.

C'est pour cela que le nouveau propriétaire s'est appelé à la mise à niveau et à la rénovation des équipements pour la mise en exploitation de la totalité des capacités existantes.

Les travaux ont touché les utilités (traitement de l'ambiance station de production froid et traitement de l'eau). L'introduction de nouveaux produits (fromage frais type Laibni) par l'installation d'un nouvel atelier.

II.4. production

• L'unité réceptionne 60000L de lait par jour.

La capacité de transformation de l'unité se répartit par jour comme suite :

• Camembert : fromage à pate molle, la quantité transformée est de 50000 L/jour (1992).

• Lait reconstitué : la quantité produite est 21989 L/jour.

• Laibni : 9882 plaques, chaque plaque contient quatre pots.

II.5. Le personnel

La laiterie comporte un effectif d'environ 237 personnes. Le régime de travail pour les structures de productions est de 5 à 8 heures de matin pour l'équipe de fabrication de lait reconstitué, une autre équipe débute le matin de 8h à 16h comme l'équipe de laboratoire et un autre groupe de 8h jusqu'à 1h 30min qui s'occupe de conditionnement et de maintenance et l'équipe de service de traitement de l'eau.

L'unité de Sidi Saada se commercialise avec plusieurs wilayas qui sont :

- Mostaganem
- Oran
- Blida
- Tlemcen

II.6. Origine de l'eau

L'unité laitière de Sidi Saada Relizane est alimentée par une eau de forage de Yellel d'un débit de 23 m³/h et une salinité moyenne initialement de 1600 mg/L, mais actuellement, après l'épuisement de l'ancien forage d'eau et l'exploitation d'un nouveau forage, atteint jusqu'à 5000 mg/L.

L'eau est un élément essentiel utilisée dans l'unité comme un agent de dissolution, de dilution ou de nettoyage. Cependant pour devenir utilisable, elle doit être traitée. Ce traitement passe par plusieurs étapes qui se suivent.

II.7. Étapes de prétraitement des eaux brutes

II.7.1. désinfection

L'eau brute subit une désinfection par le chlore au moyen d'une pompe doseuse ce qui permet de détruire tous les micro-organismes vivant dans l'eau et donc assurer une bonne qualité d'eau qui servira à la fabrication du lait et ses dérivés.

II.7.2. Filtration sur sable

La filtration est un procédé utilisant le passage d'un solide- liquide à travers un milieu poreux (filtre) qui retient les solides et laisse passer les liquides (filtrat).

Tout d'abord, on reçoit l'eau par le service des eaux de Relizane avec une grande capacité dans des baches des eaux brutes. Cette eau circule à l'aide des pompes et subit un prétraitement par une filtration sur sables en passant par 5 lits de sable différents pour éliminer toutes les impuretés à leurs diamètres.

L'eau brute subira, donc, un 1^{er} prétraitement par une filtration sur sable pour éliminer toutes les impuretés notamment les matières en suspension.

II.7.3. Filtration sur charbon actif

Le chlore résiduel est adsorbé par le charbon actif en grains afin de préserver les membranes d'osmose inverse.

II.7.4. Traitement chimique par l'anti-scalant

C'est un inhibiteur de précipitation qui protège la membrane contre la dégradation chimique et le colmatage. L'anti-scalant est injecté au moyen d'une pompe doseuse et est utilisé pour complexer les ions Ca^{2+} , afin d'éviter leur précipitation sous forme de sulfate de calcium (CaSO_4).

II.7.5. Microfiltration

La microfiltration permet de retenir les molécules ou particules telles que : les colloïdes, les oxydes métalliques notamment les oxydes ferriques, bactéries ... etc.

Elle est composée d'un filtre à cartouche ayant un seuil de coupure de $0,1 \mu\text{m}$ à $10 \mu\text{m}$.

II.7.6. Traitement final par osmose inverse

II.7.6.1. Osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide qui permet l'élimination des sels d'une solution par perméation sélective à travers une membrane sous l'action d'un gradient de pression.

Les membranes d'osmose inverse ont la propriété d'effectuer une séparation en fonction des dimensions des molécules ou de leur poids moléculaire: tout constituant dont le poids est égal ou supérieur à un seuil caractéristique de la membrane, appelé seuil de coupure (Molecular weight cut-off « MWCO »), sera retenu par cette membrane et tout constituant de poids inférieur passera.

II.7.6.2. Type de modules utilisés par l'industrie laitière de Sidi Saada

L'industrie laitière de Sidi Saada utilise 3 modules disposés en parallèle de type OSMOPAC HH20000 (USA) d'une durée de vie de 3 à 4 ans, avec un débit d'alimentation des modules de $23 \text{ m}^3/\text{h}$ et d'un débit de perméat de $17 \text{ m}^3/\text{h}$ à 20°C (Figure N°11). Ces modules utilisent 15 membranes (chaque module contient 5 membranes) sous forme de plan-spiralé en polyamide aromatique modèle Filmtec (USA) (Polyamide thin-film composite) type 8" BWLE-440 (High Surface Area ($11,21\text{m}^2$) Low-Energy Brackish Water RO Element) en mode filtration tangentielle. Le premier module plan-spiralé qui a été commercialisé est un cylindre ayant un poids de 2000 kg, et une longueur de 5m, en général de dimensions en mm :

$L \times I \times H = 5000 \times 1000 \times 2200$

Ces 3 modules fonctionnent sous une pression de 14 bars à 20°C, avec un taux de conversion de 70% et un taux de rétention des sels de 97% à partir d'une eau saumâtre brute initialement de 1600 mg/L mais actuellement jusqu'à 5000 mg/L L et un indice de colmatage maximum des microfiltres de 3 (ALFA LAVAL).

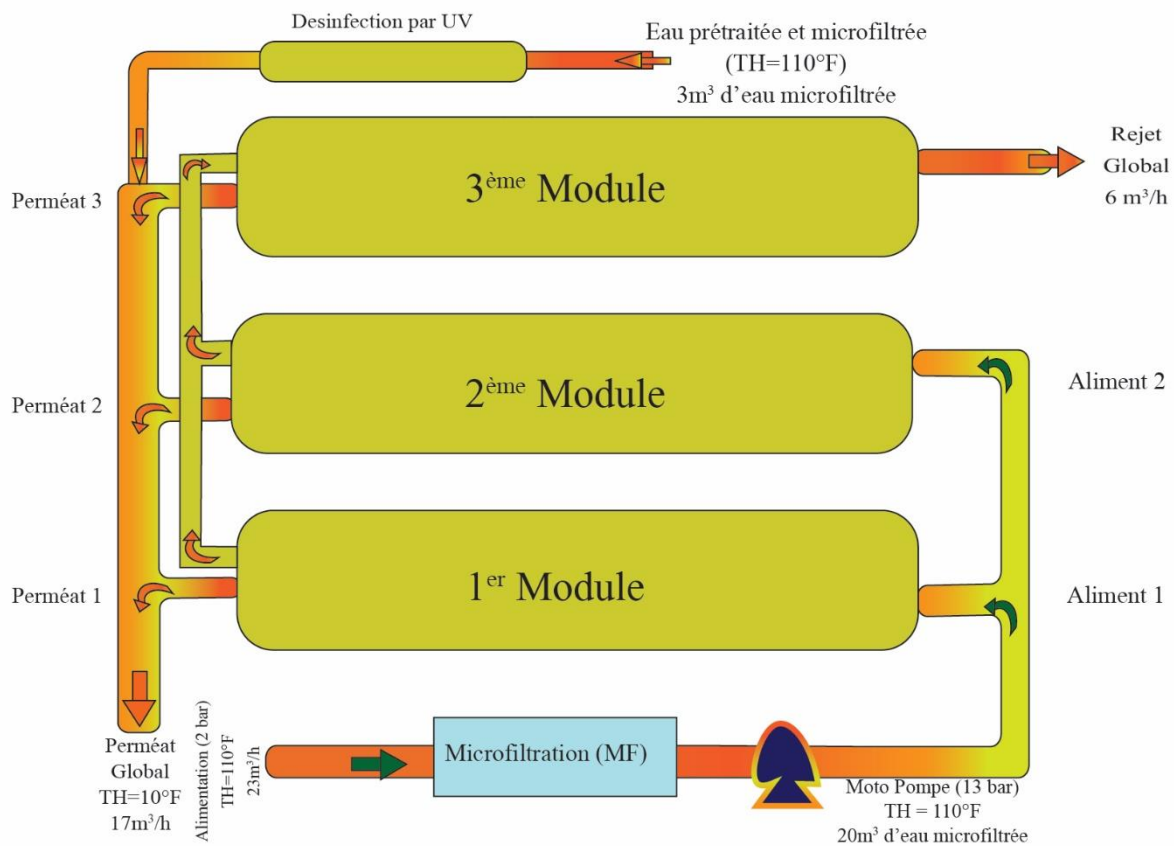


Figure N°11 : Module d'osmose inverse pour le traitement final

II.7.6.3. Les recommandations formulées pour les calculs de l'exploitation de l'installation

II.7.6.4. Taux de conversion (TC)

Le taux de conversion (TC) est le rapport entre le débit d'eau épurée (perméat) et le débit d'eau d'alimentation du module. L'élévation du taux de conversion conduit à l'augmentation de la concentration en sel des rétentats et des risques de précipitation au sein de la membrane. Ceci entraîne une diminution de l'efficacité de l'installation (Equation II.1).

$$TC(\%) = \frac{Q_p}{Q_a} \times 100 \quad (\text{II.1})$$

Avec :

$$Q_a = Q_p + Q_r.$$

TC : taux de conversion (%).

Q_p : débit d'eau produite (perméat) (m^3/h).

Q_a : débit d'eau d'alimentation (m^3/h).

Q_r : débit d'eau de rejet (rétentat) (m^3/h).

II.7.6.5. Taux de Rétention (TR)

Le taux de rétention (TR) des sels par la membrane d'osmose inverse est le rapport de la différence entre la conductivité ou salinité d'eau d'alimentation du module osmose inverse et la conductivité ou salinité d'eau produite (perméat) du module osmose inverse par la conductivité d'eau d'alimentation du module d'osmose inverse (Equation II.2) :

$$TR(\%) = \frac{\chi_{\text{alimentation}} - \chi_{\text{perméat}}}{\chi_{\text{alimentation}}} \times 100 \quad (\text{II.2})$$

Avec :

TR : Taux de rétention des sels (%)

$\chi_{\text{alimentation}}$: Conductivité d'eau d'alimentation du module d'osmose inverse
($\mu\text{s}/\text{cm}$)

$\chi_{\text{perméat}}$: Conductivité d'eau produite (perméat) du module d'osmose inverse
($\mu\text{s}/\text{cm}$)

II.7.6.6. Passage du sel ou transmission

Le passage de sel (transmission) à travers le module d'osmose inverse ou autrement dit le sel qui n'est pas retenu par la membrane d'osmose inverse est calculé par la relation suivante (Du Pont de Nemours, 1984) (Equation II.3) :

$$PS (\%) = 100 - TR (\%) \quad (II.3)$$

Avec :

PS : passage de sel (%).

Figure : module d'osmose inverse pour le traitement des eaux prétraitées, utilisé par l'industrie laitière de Sidi Saada.

II.7.7. Les différents passages de l'eau traitée pour la production

L'eau traitée est prête pour la préparation du lait reconstitué à base de poudre et d'autres produits laitiers ; pour cela, elle va subir différents passages selon l'utilisation :

Le 1^{er} passage : L'eau traitée (osmosée) sera acheminée vers l'atelier de reconstitution du lait écrémé afin de le préparer.

Le 2^{ème} passage : Adoucissement dans des adoucisseurs à base de résines échangeuses cationiques pour éliminer la dureté totale ($Ca^{2+} + Mg^{2+}$).

Le 3^{ème} passage : Le dégazage dans un dégazeur pour éliminer les gaz sous pression et à température de 105°C.

Le 4^{ème} passage : La chaudière pour la production de vapeur

Le 5^{ème} passage : Le froid à l'aide des compresseurs, refroidisseurs, des plaques et l'utilisation de l'eau glycolée à température de -7°C et -3°

II.8. Processus de fabrication du lait reconstitué**II.8.1. Réception du lait**

On reçoit le lait dans l'atelier de réception afin de l'analyser qualitativement et quantitativement avec des analyses physicochimiques dans un demi-laboratoire à côté de la salle de réception. On mesure : pH, la densité, la température, la matière grasse, le point de congélation, la quantité des protéines et de lactose. Pour accepter un lait, il faut qu'il :

- Ne soit pas acide (pH : 6.6-6.8)
- Ne soit pas écrémé (MG>32g)
- Ne soit pas mouillé (la densité est supérieure à 1,028)

Et on détermine ça quantité. Si ce lait correspond aux normes, il est filtré par un tamis plastique et il sera recruté pour passer à la chaîne de fabrication de produits laitiers.

Cas exceptionnel : si le lait a une densité inférieure à 1,028 et une matière grasse Supérieure à 36g, il est accepté

II.8.2. Traitement de l'eau

L'eau est potable à cause de l'absence des coliformes dans 100ml, la température préférée pour la recombinaison est de 35 à 45°C, à cette température la poudre a une meilleur mouillabilité et une meilleur dissolubilité (Luquet, 1985).

II.8.3. Inclusion de poudre écrémée

C'est l'opération qui consiste à mélanger 6 sachets qui contient 25 kg du lait écrémé en poudre Spray à 0% de matière grasse avec 10 sachets de poudre du lait entier à 26% de matière grasse importé de l'Argentine avec de l'eau traitée de 4200 L. On réalise ce mélange par un appareil qui s'appelle TRIBLINDER.

II.8.4. Agitation et recyclage

Cette étape est exercée dans des tanks de capacité 10.000 L pour chaque une, et a pour but :

- D'augmenter la disperssibilité.
- Assurer une bonne solvatation (hydratation des composants colloïdaux).
- Eviter la formation d'agglomérat

II.8.5. FILTRATION

C'est un processus de nettoyage du lait, c'est-à-dire débarrasser le lait de toutes impuretés physiques telles qu'insectes et la poudre insoluble.

II.8.6. Homogénéisation

Sous pression élevée (155 bars) par une action mécanique et température de 60-70°C, cette opération admet à la bonne dispersion des globules gras dans le lait, la réduction de la taille de ces globules et la destruction partielle des micelles de caséines.

II.8.7. Dégazage

Pour éviter l'oxydation de la matière grasse pendant la reconstitution.

II.8.8. Pasteurisation

Le traitement thermique est destiné à la destruction totale de la flore pathogène, et presque la totalité de la flore banale, tout en s'efforçant de ne toucher qu'au minimum à la structure physique du lait, à ces équilibres chimiques, ainsi qu'à ses éléments biochimique « le diastase et les vitamines notamment ».

La pasteurisation est systématiquement appliquée en utilisant deux combinaisons : 63°C pendant 30 min et 70°C pendant 15 sec.

Pour la qualité microbiologique des laits crus les températures sont de 72°C en 15 sec sont couramment les plus appliquées.

II.8.9. Conditionnement et stockage

Le lait recombéné pasteurisé s'achemine vers les tanks de stockages à une température de 9 à 10°C pour éviter son acidification. Après pasteurisation, le lait doit être placé dans des récipients fermés et inviolables en vue de la mettre à l'abri des contaminations au cours de la commercialisation. Après refroidissement, le lait passe pour être emballé dans des sachets qui sont stérilisés par l'eau chaude.

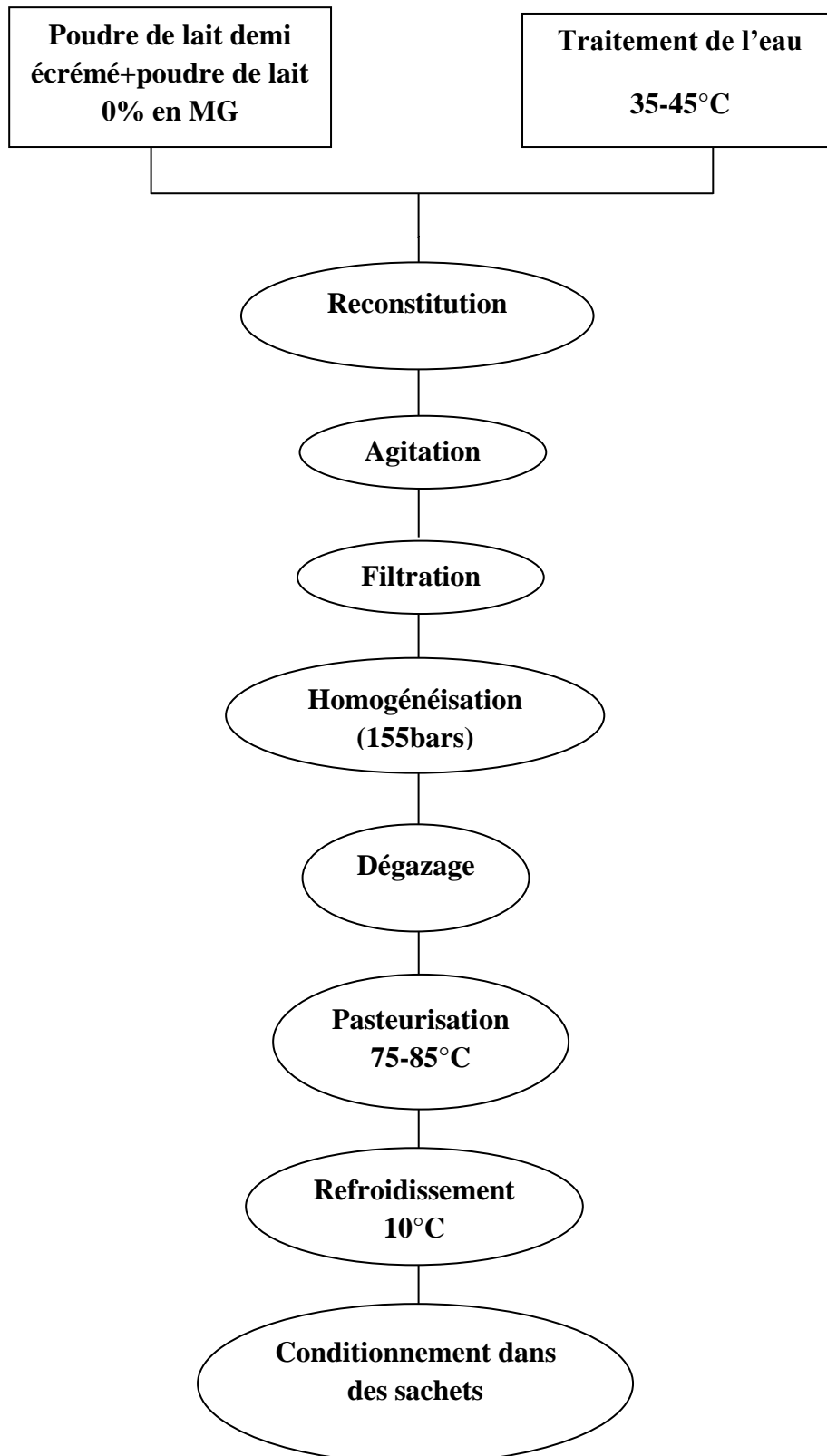


Figure N°12 : Diagramme de fabrication de lait reconstitué

II.9. Processus de fabrication de camembert

II.9.1. Schéma de fabrication de camembert

La Figure N°13 ci-dessous représente le diagramme de fabrication du camembert.

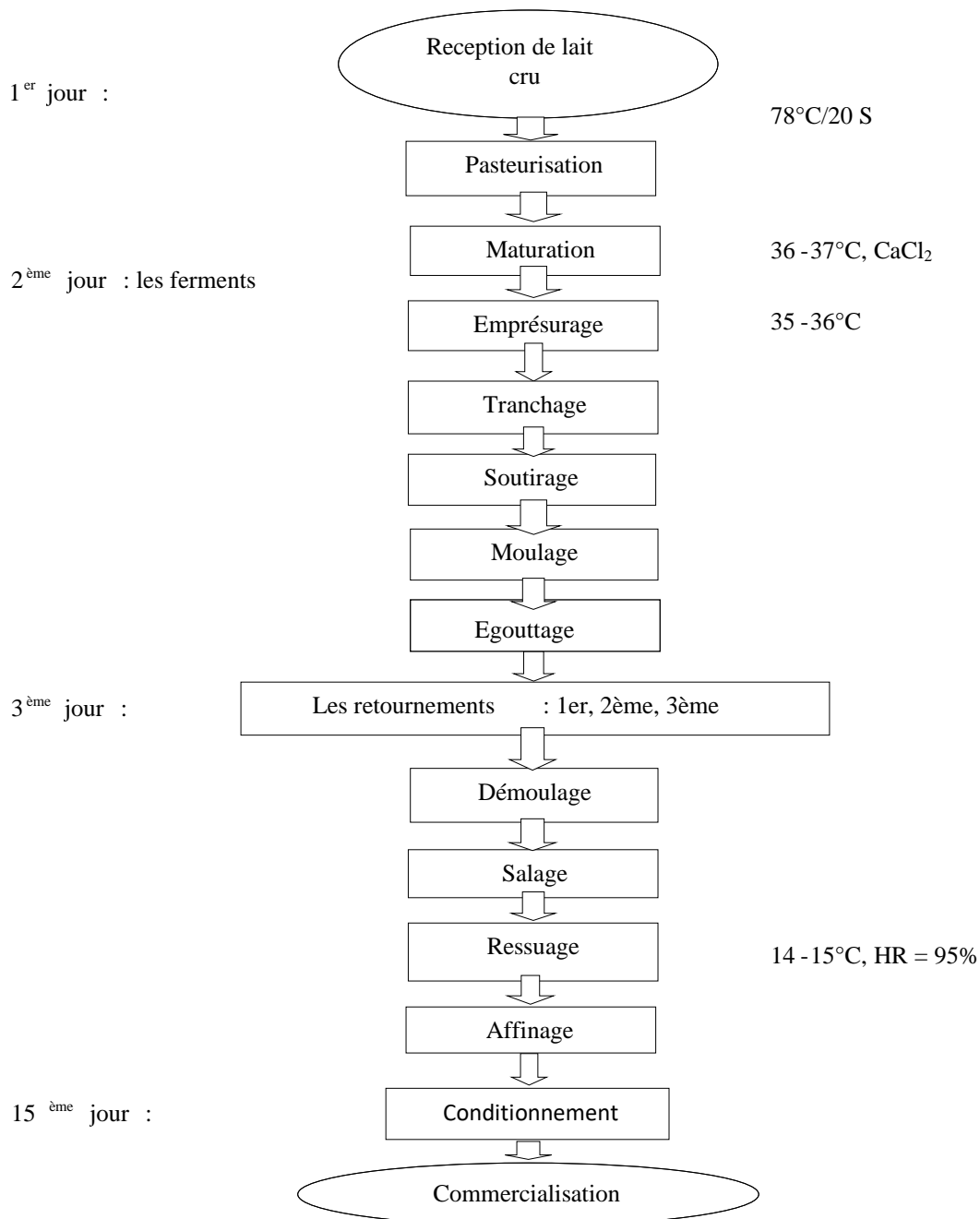


Figure N°13 Diagramme de fabrication du camembert

II.9.2. Maturisation

Le lait est stocké dans des tanks au niveau du service atelier fromagerie, puis il subit un réchauffement à 37-38°C avec adjonction d'ingrédients suivant :

- Levains mésophiles 40 %.
- Levains thermophiles 60 %.
- Chlorure de calcium 0.08 g/L
- Pénicillium super actif.

II.9.3. La coagulation

La présure utilisée est d'origine animal sous forme d'une poudre. La coagulation se fait dans des bassins où le lait arrive à une température de 35 à 36°C avec une acidité de 21 à 22 °D. Une fois l'emprésurage se fait, il faut attendre que la floculation se produise pour déterminer le temps de coagulation.

- Temps de prise : marque le début de la coagulation qui se situe entre 8-10 min après l'emprésurage.
- Temps de coagulation : est trois fois le temps de prise.

II.9.4. Tranchage

Le coagulum ainsi formé est découpé en petits cubes à l'aide d'une tranche de caillé, le caillé est laissé se reposer dans le sérum pendant 22 min pour permettre la remontée du sérum, visant à accélérer l'exsudation du sérum tout en empêchant les grains d'adhérer entre eux pour former des amas emprisonnant le liquide.

II.9.5. Moulage –égouttage

Après avoir évacué le lactosérum par soutirage, le caillé subit un moulage qui se fait dans des moules. Pour améliorer l'égouttage du caillé, deux retournements sont effectués :

- Premier retournement : 1h30, d'acidité 40°D
- Deuxième retournement : 3h, d'acidité 60°D

L'égouttage se fait dans la nuit dans une température de 18 à 16°C.

II.9.6. Salage

Les fromages sont démoulés et placés dans des claies de salage et prolongés dans un bain de saumure avec une concentration du sel égale à 1.8% pendant 30 à 40 min.

II.9.7. Ressuage

Les fromages une fois salés passent au compartiment de ressuage pendant 6h dans des conditions ambiantes.

II.9.8. Affinage

Les fromages sont placés dans un hâloir durant 9 jours dont les conditions ambiantes à température de 11 à 13°C et d'hygrométrie de 95% et sont ensuite pulvérisés par une suspension de *penicillium candidum*. Les fromages sont retournés une fois tous les 3 jours en vue de permettre une bonne poussée des *penicilliums*, c'est à partir du 5^{ème} jour que cette bactérie commence à envahir la surface des fromages.

II.9.10. Séchage et conditionnement

Le fromage affiné passe au compartiment de séchage de 10°C puis il est conditionné dans des papiers et boîtes de carton.

II.10. Processus de fabrication du fromage Laibni

La préparation de ce type se fait par ce mélange (Figure N°14) :

- Lait fermenté de type leben
- Beurre
- Sel
- Conservateur
- Un gélifiant

II.11. Préparation du L'ben ET beurre

Une quantité de lait cru est réceptionné et est analysée selon les besoins, subit une coagulation spontanée et exclusivement microbienne à température ambiante en quelques jours. Ensuite, ce lait sera un lait caillé acide « Raib » puis battu mécaniquement pendant 30-45 minutes avec ajout d'eau pour obtenir beurre et l'ben.

II.11.1. Mélange des ingrédients

La préparation de ce type se fait par ce mélange :

- Lait fermenté de type leben
- Beurre
- Sel
- Conservateur
- Un gélifiant

II.11.2. Pasteurisation

Le mélange est pasteurisé à une température de 88°C pendant 15sec.

II.11.3. Homogénéisation

Se fait à une température de 65°C avec une pression de 180 bars.

II.11.4. Agitation

Le mélange est stocké dans une cuve pour qu'il soit agité.

II.11.5. Conditionnement

Le fromage est transféré par une installation à l'appareil d'emballage pour être mis dans des pots de 60 à 200g.

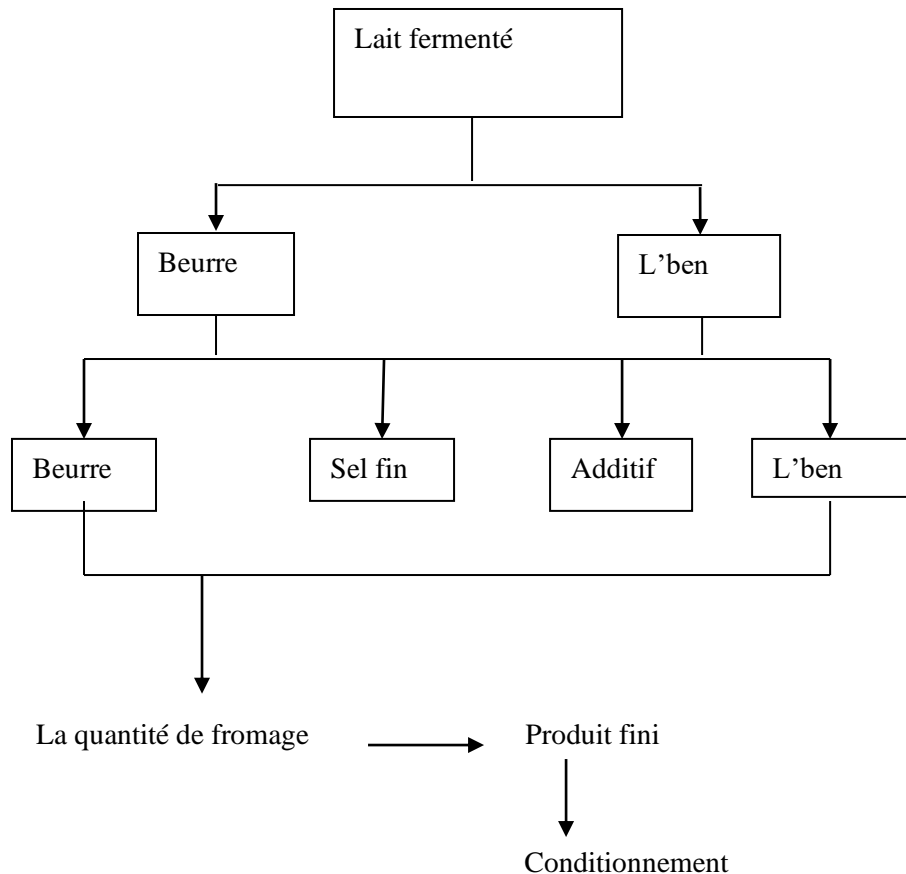


Figure N°14. Diagramme de fabrication d'un fromage type Laibni

II.12. Les agents chimiques de nettoyage utilisés au sein de l'industrie laitière de Sidi Saada

Ils sont généralement, l'acide nitrique (concentration 1%, 1L/100L d'eau de perméat) à 60°C. , la soude, l'eau traitée (pour le pré-rinçage) et l'eau chaude (pour le rinçage final) pour le Nettoyage en place (NEP ou CIP) des équipements colmatés par les produits laitiers.

Chapitre III

*Le procédé RO dans
l'unité laitière*

Sidi Saada

Introduction

Plusieurs techniques séparatives telles que l'osmose inverse (Reverse osmosis « RO ») sont utilisées pour produire de l'eau douce à partir d'eau de mer ou d'eau saumâtre (BRUN, 1989).

L'unité laitière de Sidi Saada procède à une chaîne de traitement des eaux brutes souterraines (eau de forage de Yellel - Relizane) afin de fabriquer le lait reconstitué à base de poudre et les produits laitiers.

Le but de ce chapitre est, d'une part, acquérir et maîtriser la technique d'osmose inverse et d'autre part avoir une idée globale sur les paramètres physico-chimiques concernant les eaux brutes avant et après osmose inverse.

Sur la base de ces données, nous allons comparer les valeurs obtenus avec les normes exigées par le constructeur en fixant une pression transmembranaire (PTM) de 13 bar qui est utilisée par l'unité laitière de Sidi Saada comme étant une PTM optimale.

III.1. Prélèvement des échantillons

Nous avons choisi 3 points de prélèvement.

- Ⓐ Après passage de l'eau dans les microfiltres ou avant l'entrée dans les modules d'osmose inverse (eau d'alimentation des modules)
- Ⓑ A la sortie des modules (eau produite ou perméat)
- Ⓒ A la sortie des modules (eau de rejet ou rétentat)

Les prélèvements sont effectués dans des flacons lavés et séchés. Nous avons analysé tous les échantillons prélevés dans les mêmes conditions (Tableau N°4). Les résultats mentionnés sont des moyennes calculées à partir de 3 prélèvements effectués.

III.2. Performance des modules d'osmose inverse

Pour étudier la performance des modules d'osmose inverse, des analyses physico-chimiques avant et après osmose inverse ont été effectuées à une PTM de 13 bar fixée par le constructeur Alfa Laval (Tableau N°4).

Tableau N°4 : Analyses physico-chimiques des eaux avant et après osmose inverse à PTM 13 bar

Paramètres physico-chimiques	Eau d'alimentation d'osmose inverse	Eau produite (perméat)	Eau de rejet (Rétenant)
T (°C)	20	17	17,5
pH	7,62	5,67	7,61
Conductivité (µs/cm)	6930	177,33	10000
Cl⁻ (mg/L)	1069,73	71	3386,56
TH (°F)	111,53	0	340,93
TA (°F)	0	0	0
TAC (°F)	25,5	1,16	84,33

Selon les résultats obtenus la conductivité d'eau d'alimentation des modules d'osmose inverse enregistrait une valeur nettement supérieure à la norme algérienne (2800 µs/cm) et celle de l'OMS (250 µs/cm) concernant les eaux potables destinées à la consommation humaine (Normes algériennes, 2011 ; Normes de l'OMS, 1993), ce qui montre la qualité médiocre des eaux alimentant l'industrie laitière de Sidi Saada. Tandis que, le perméat d'osmose inverse a une valeur de conductivité nettement inférieure à la norme algérienne et celle de l'OMS, où cette eau est conforme au contrôle qualité, donc peut être consommée et/ou mélangée avec la poudre de lait pour la fabrication du lait reconstitué. Par contre, la conductivité d'eau de rejet d'osmose inverse montre une valeur très élevée, ce qui est logique vu que le procédé RO retient tous les sels contenus dans l'eau sur l'interface membranaire et qui seront rejetés par l'autre extrémité de la membrane sous forme d'une saumure concentrée.

Il est a constaté aussi que la dureté totale (Calcium + Magnésium) ou Titre hydrotimétrique (TH) de l'eau d'alimentation des modules RO est importante de 111,15 °F correspondant à 1111,5 mg/L en CaCO₃. Cette valeur enregistrée dépasse la

norme algérienne, de presque 6 fois, fixée à 200 mg/L en CaCO_3 , ce qui peut provoquer un colmatage du CaCO_3 et CaSO_4 sur la membrane en réduisant le flux de perméat et altérant sa qualité en termes de salinité, où un nettoyage en place (Cleaning-in-place (CIP)) sera indispensable. Par contre, il est a observé que la dureté de l'eau de perméat est nulle, cela est dû à la performance des modules RO qui sont capables d'éliminer totalement la dureté de l'eau saumâtre. Mais cette eau douce produite (TH = 0 °F) de 17 m³/h sera mélangée dans un procédé de mitige âge avec 1,5 m³/h d'eau brute (TH = 111 °F) en obtenant finalement une eau traitée d'un débit de 18,5 m³/h et un TH = 14 °F (Alfa Laval) qui sera convenable pour la fabrication du lait reconstitué. L'autre moitié de l'eau traitée (TH = 14 °F) sera acheminée par les adoucisseurs fonctionnant par des résines échangeuses de cations pour éliminer à nouveau la dureté de l'eau afin d'alimenter la chaudière qui produit de la vapeur chaude nécessaire dans le procédé de pasteurisation du lait reconstitué qui a besoin d'une température aux alentour de 80°C pour détruire tous les micro-organismes non pathogènes du lait fabriqué.

III.3. Taux de rétention et transmission des sels

Le taux de rétention (TR) des sels est déjà défini dans le chapitre II et son calcul était mis en évidence dans l'équation II.2. Par contre la transmission ou passage de sels déjà indiqué dans l'équation II.3 est le taux de sels qui passent à travers la membrane dans le coté perméat pour atteindre les 100 % de sels d'alimentation des modules, puisque la rétention de sels se fait dans le coté rétentat ou rejet osmose inverse. Le résultat est récapitulé dans le Tableau N°5 en comparant avec la rétention des sels par la membrane de l'année dernière.

Tableau N°5 : Taux de rétention et transmission (passage de sels) à PTM 13 bar

L'année	Taux de rétention (%)	Transmission (passage de sels (%))
Février 2019	96,4	03,6
Février 2020	97,4	02,6

Après calcul un taux de rétention de 97,4 % était obtenu cette année, ce qui coïncide avec la norme du constructeur Alfa Laval de 97 %. Ceci montre que les modules d'osmose inverse fonctionnent correctement mais aussi et surtout reflète les CIP efficaces périodiquement effectués au sein de l'unité. On outre, il est a noté que seulement 3 % des sels sont transmis dans le perméat à travers la membrane RO, ce qui donne une eau de salinité convenable à la fabrication du lait reconstitué.

Concernant l'année dernière (2019) et à la même période (Février), il est a noté que la rétention était un peu en dessous (96,4 %) de celle de cette année (2020) et de celle du constructeur. Ceci est expliqué par l'efficacité du nettoyage en place (CIP) mis en place en Juin 2019 au sein de l'usine suite au travail effectué par notre groupe de recherche (Berraho et Ould Abderrahmane, 2019) en complétant un travail effectué dans le même contexte, en termes d'efficacité de nettoyage en place, par notre étudiant Master de l'année 2018 (Daoura, 2018). De plus, ces résultats montent que les modules d'osmose inverse actuellement utilisés par l'industrie laitière Sidi Saada sont toujours neufs et qui n'a pas encore dépassé la durée de vie des modules estimée à 5 ans de service.

***Conclusion
Générale***

Conclusion générale

Au cours de ce travail, une étude de la performance du procédé d'osmose inverse à savoir le taux de rétention des sels, durant le traitement d'eau saumâtre sur le site industriel de la laiterie de Sidi Saada, a été effectué.

Il a été conclu que l'eau saumâtre de forage de Yellel - Relizane alimentant l'unité laitière a une qualité médiocre vu sa minéralisation élevée à cause notamment de la dureté élevée et la teneur excessive en chlorures, ce qui oblige à appliquer la technique d'osmose inverse en phase finale de la chaîne de traitement des eaux au sein de cette unité, et ce, pour retenir le maximum de sels et par conséquent avoir une excellente qualité adéquate pour la reconstitution du lait réalisée par le mélange de cette eau produite et la poudre de lait importée.

En outre, il faut noter que le taux de rétention des sels est conforme à la norme du constructeur, ainsi il s'est amélioré de 1% par rapport à celui de l'année précédente en même période (Février) choisie. Ceci est dû à l'efficacité du nettoyage en place des membranes d'osmose inverse établie et mise en place en Juin de l'année dernière par notre équipe de recherche dans le cadre de projet de fin d'études des étudiants Master en génie de procédé de l'environnement et en génie chimique. Ceci peut révéler aussi la validité de la durée de vie des membranes d'osmose inverse, ce qui permet à l'unité laitière de les exploiter encore plus dans le cadre du traitement des eaux pour la production et le processus.

Au vue la conjoncture sanitaire actuelle relative à la pandémie COVID-19 nous n'avons malheureusement pu compléter notre travail à savoir la mesure du taux de rétention et flux de perméat correspondant, où nous étions obligés de quitter le lieu industriel de cette unité laitière.

Bibliographie

Bibliographie

ALFA LAVAL, Manuel opératoire des procédés de fabrication des produits laitiers et du traitement des eaux exigé par le constructeur au complexe laitier de sidi Saada, France.

Aptel P., Membranes and Membranes devices in water treatment, in: Proceeding of XVth Annual Summer School on Membrane Processes in Water and Waste water Treatment, European Membrane Society, Toulouse, France, 6-10 July, 1998, pp. 38-52.

BERRAHO Amina Manel et OULD ABDERRAHMANE Abderrahmane El Nacer, Amélioration de l'efficacité du nettoyage en place des membranes d'osmose inverse utilisées pour le traitement des eaux saumâtres dans l'industrie laitière de Sidi Saada, Mémoire de fin d'études de Master Académique, Filière : Génie des procédés, Option : Génie de procédé de l'environnement, Département de génie des procédés, Faculté des sciences et de la technologie, université de Mostaganem, 2019.

Brun J. P., Procédés de séparation par membrane: transport, techniques membranaires et applications, Ed. Masson, Paris, France, 1989.

DOKA DAOURA Amadou, Nettoyage en place des membranes d'osmose inverse utilisées pour le traitement des eaux saumâtres dans l'industrie laitière de Sidi Saada, Mémoire de fin d'études de Master Académique, Filière : Génie des procédés, Option : Génie chimique, Département de génie des procédés, Faculté des sciences et de la technologie, université de Mostaganem, 2018.

Du Pont de Nemours E. I. and Co., Permasep B-9 Permeator - Technical Information Manual: Section 7, Du Pont de Nemours, Wilmington, U.S.A., 12 Janvier, 1983, pp. 1-7.

Jakobs E., Karos W. J., Modification of ceramic ultrafiltration membranes and their characterisation, in: Proceeding of 8th Annual Meeting of North American Membrane Society, Ottawa, Canada, 22 may, 1996, pp. 147-148.

Lebosse X., Fuchs C., Applications of membrane bioreactors, in: Proceeding of Xth Annual Summer School on Membrane processes in water and waste water treatment, European Membrane Society, Toulouse, France, 6-10 July, 1998, pp. 198-204.

Lonsdale H. K., Reverse osmosis, in: Synthetic membranes: Science, Engineering and Applications, Nato ASI Series, Series C: Mathematical and Physical Sciences, D. Reidel Publishing Company, Dordrech, Holland, 181, 1986, pp. 307-342.

Bibliographie

Luquet F. M., Laites et produits laitiers : Vaches, brebis, chèvre, Ed. Technique et Documentation – Lavoisier, 1, 1985.

Maurel A., Osmose inverse et ultrafiltration - Technologie et applications, Ed. Techniques de l'Ingénieur J 2792, 1974, pp. 1-3.

Normes algériennes, JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N°18, Décret exécutif n°11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine, Mars 2011, pp. 6-9.

Pontié M., Phénomènes électrocinétique et transferts ioniques dans les membranes poreuses à faibles seuils de coupure- Application au traitement des eaux saumâtres, Thèse de Doctorat, Université de Tours, Novembre, 1996.

Vincent J., La chimie de nettoyage (chapitre 6), dans nettoyage : désinfection et hygiène dans les bio-industries, Editeurs : J. Y. Leveau et M. Bouix (Tec et Doc, Lavoisier) Paris, 167-204, 1999.

World Health Organization (WHO)(OMS), Drinking water standards, WHO's guidelines for drinking water quality, set up in Geneva, 1993. Available: <http://www.lenntech.fr/francais/norme-eau-potable-oms-ue.htm>, accessed on August 2020.

Annexe

Annexe

1. Détermination du pH

Dans la nature, une eau neutre ($\text{pH} = 7$) est peu fréquente. En effet, chaque type d'eau contient une quantité plus ou moins grande de matières organiques et inorganiques qui modifient les concentrations en ions hydroniums (H_3O^+) et en ions hydroxydes (OH^-) et donc le pH.

On rencontre des eaux à pH acide dans les régions granitiques et des eaux à pH basique dans les régions calcaires, à cause de la teneur élevée en sels de calcium des eaux dures.

Le pH est en relation étroite avec la concentration des ions H^+ présents dans l'eau ou les solutions. Il est déterminé par un pH-mètre.

En plonge l'électrode dans l'échantillon et on laisse la valeur se stabiliser pendant quelques secondes puis on note la valeur du pH.

2. Détermination du TH (titre hydrométrique) ou dureté totale

Le titre hydrométrique ou TH correspond principalement à la teneur de l'eau en ions calcium et magnésium Ca^{2+} et Mg^{2+} , cette teneur représente la dureté totale.

La dureté totale représente la dureté de l'eau, qui joue un rôle important dans la vie courante notamment en ce qui concerne l'encrassement des appareils.

Tableau : Classement des eaux suivant leur dureté

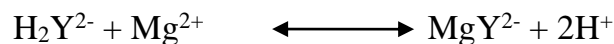
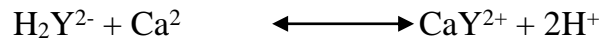
Eau	Concentration en CaCO_3
Très douce	-30 mg / L
Douce	30 à 50 mg / L
Dure	150 à 300 mg / L
Très dure	+ 300 mg / L

Le Principe c'est le titrage et la formation d'un complexe (réaction de complexation) par le biais d'un complexant qui est l'EDTA (Acide éthylène diamine tétra-acétique) .

Annexe

La dureté totale représente la quantité totale d'ions Ca^{2+} et Mg^{2+} présents dans l'eau. Après addition à pH 10 d'un indicateur qui forme avec les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} des complexes (initialement rouge), on réalise le titrage du mélange coloré par l'EDTA. Au terme du titrage, l'indicateur est libéré, la solution passe du rouge au vert.

Le sel di-sodique de l'acide éthylène diamine tétra-acétique (EDTA) forme des complexes stables (1-1) incolores avec les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} .



La présence d'ions Mg^{2+} est indispensable, car le complexe formé par les Ca^{2+} avec l'indicateur est instable.

Mode opératoire

Dans un Erlenmeyer de 250ml on introduit 100ml d'eau à analyser puis on ajoute 10ml de solution tampon d'ammoniac à pH égal à 10 et deux gouttes de l'indicateur coloré noir d'ericrome T (N.E.T).

Si la coloration de la solution devient bleue donc la valeur de TH=0
Si la coloration de la solution devient violette donc on fait un dosage de la solution par l'EDTA Jusqu'à l'obtention de la couleur bleue puis on note la valeur du volume obtenu au virage du mélange. Le volume de l'EDTA versé représente la valeur du TH recherchée.

Expression des résultats :

Soit V le volume nécessaire au titrage. Donc $\text{TH} = V_1 \text{ } ^\circ\text{F}$

La dureté totale est exprimée en degré français ($^\circ\text{F}$)

3. Détermination de TA (titre alcalimétrique)

Le titre alcalimétrique ou TA mesure la teneur de l'eau en hydroxydes et carbonates. Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

Annexe

Mode opératoire :

Prélever 100 ml d'eau à analyser, ajouter 1 à 2 gouttes de phénolphthaléine. Une coloration rose doit alors apparaître.

Dans le cas contraire (pas de coloration) le TA est nul ce qui est le produit en général pour les eaux naturelles dont le pH est inférieur à 8,3. Verser ensuite doucement l'acide chlorhydrique à l'aide d'une burette, en agitant constamment et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution.

Soit V le nombre de millilitres d'acide versés.

Expression des résultats :

Si on n'a pas de coloration $TA=0$ Si non V exprime le titre alcalimétrique en degré français ($^{\circ}F$) ; avec V c'est le volume nécessaire pour la décoloration de la solution.

Ou $V/5$ exprime le titre alcalimétrique en milliequivalent gramme par litre

4. Détermination de TAC (titre alcalimétrique complet)

L'alcalinité totale de l'eau est donnée par la somme des différentes formes d'alcalinité existantes, soit, par la concentration des hydroxydes, des carbonates et des bicarbonates, exprimée en termes de carbonate de calcium. On peut dire que l'alcalinité mesure la capacité de l'eau à neutraliser les acides.

La mesure de l'alcalinité est d'une importance fondamentale dans le processus de traitement de l'eau, car c'est en fonction de sa teneur que s'établit le dosage des produits chimiques utilisés.

Méthode de détermination

Le titrage avec l'acide sulfurique

Matériel nécessaire.

- a) une pipette volumétrique de 50 ml.
- b) un flacon Erlenmeyer de 250 ml.
- c) une burette de 50 ml.
- d) de la phénolphthaléine.
- e) un indicateur méthylorange.
- f) un Indicateur mélange vert de bromocrésol / rouge de méthyle.
- g) une solution d'acide sulfurique 0,02 N.
- h) une solution de thiosulfate de sodium 0,1 N.

Annexe

Mode opératoire :

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration. Ajouter deux gouttes de méthylorange de nouveau avec le même acide vous titrez jusqu'au virage du jaune au jaune orangé (pH = 4,3).

S'assurer qu'une goutte d'acide en excès provoque le passage du jaune orangé au rouge orangé (pH = 4), soit V' le volume d'acide sulfurique à 0,02 N. versé depuis le début du dosage. Retrancher de ce volume 0.5 ml, quantité d'acide.

Technique

- a) prendre 50 ml d'échantillon et les mettre dans un flacon (Erlenmeyer).
- b) ajouter 3 gouttes de solution d'indicateur vert de bromocrésol / rouge de méthyle.
- c) Titrer la solution avec 0,02 N d'acide sulfurique jusqu'à ce que la couleur tourne au bleu-vert rose.
- d) noter le volume total de H₂SO₄ utilisé (V) ml.

Calcul:

$$\text{Alcalinité totale en mg/L de CaCO}_3 = V \times 20$$

Note :

1. utiliser 0,05 ml (1 goutte) solution de thiosulfate de sodium N 0,1 si l'échantillon présente du chlore résiduel libre.
2. Utiliser cette technique en cas d'absence d'alcalinité à la phénolphtaléine.
3. S'il y a de l'alcalinité phénolphtaléine, ajouté, avant de mélanger l'indicateur vert de bromocrésol de méthyle/ rouge 3 gouttes de phénolphtaléine et titrer avec H₂SO₄ 0,02 N jusqu'à ce que la couleur rose formée disparaisse. Continuer ensuite avec l'étape (b) de la technique.
4. L'alcalinité à la phénolphtaléine ne peut se produire que si le pH d'échantillon est supérieur à 8,2
5. A défaut d'obtenir un mélange indicateur vert de bromocrésol/ rouge de méthyle, utiliser un indicateur de méthylorange.
Dans ce cas, le point tournant dans l'étape 3 de la technique sera de jaune à orange.
6. Le tournant lors de l'utilisation du vert de bromocrésol / rouge de méthyle comme indicateur est plus clair que lors de l'utilisation méthylorange.
7. La formule ci-dessus est à utiliser lors de l'utilisation d'un échantillon de 50 ml.
En cas d'utilisation de 100 ml d'échantillon, le volume (V) sera multiplié par 10.

Annexe

Expression du résultat :

- V' (5) que divise 5 exprime le titre alcalimétrique complet en milliequivalent g / L.
- V' (5) exprime le titre alcalimétrique complet en degré français (°F).

5. Détermination des Chlorures

L'eau contient toujours de chlorures, mais en proportion très variable. Ainsi, les eaux provenant des régions granitiques sont pauvres en chlorures, alors que les eaux des régions sédimentaires en contiennent davantage. D'ailleurs, la teneur en chlorures augmente avec le degré de minéralisation d'une eau.

En général, les chlorures sont présents dans l'eau à l'état brut et transformés à des concentrations allant de petites traces jusqu'à plusieurs centaines de mg/l. Ils sont présents sous la forme de chlorures de sodium, de calcium et de magnésium.

La mer a une forte concentration de chlorure qui est d'environ de 26000 mg/L. De fortes concentrations de chlorures peuvent restreindre l'utilisation de l'eau en raison de la saveur qu'ils donnent et l'effet épuration qu'ils peuvent causer.

Le décret n° 2.914/2011 du Ministère de la Santé brésilien établit le niveau de 250 mg/L comme maximum autorisé pour l'eau potable. Les méthodes conventionnelles de traitement des eaux n'éliminent pas les chlorures.

Leur élimination peut se faire par désalinisation (osmose inverse) ou par électrodialyse, (échange d'ions).

Méthode de détermination :

Titration avec du Nitrate d'argent

Technique

- a) placer 100 ml d'échantillon dans le flacon Erlenmeyer.
- b) ajuster le pH entre 7 et 10, en cas de besoin avec NaOH ou H₂SO₄.
- c) ajouter 1 ml de la solution indicatrice de K₂CrO₄.
- d) titrer la solution avec du nitrate d'argent 0,0141N jusqu'à ce que la solution vire au jaune rougeâtre qui est le point de fin de titrage.
- e) effectuer un essai en blanc de la même façon que pour l'échantillon.

Annexe

Mode opératoire :

Dans un Erlenmeyer on introduit 100 ml d'eau à analyser plus 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur puis on ajoute 10 gouttes de chromate de potassium (K_2CrO_4) à 10%, on titre avec la solution de nitrate d'argent $AgNO_3$ à 0,1 N jusqu'au virage du jaune au rouge brique.

Pour une prise d'essai de 100 ml :

$$Cl^- = V \times 10 \times 35,5$$

Avec V le volume nécessaire pour le titrage

Les chlorures sont exprimés en mg de Cl^- par litre d'eau (mg/L).

Résumé

L'objectif de ce travail est d'étudier la performance des membranes d'osmose inverse dans le traitement des eaux saumâtres, de forage de Yellel – Relizane, utilisées dans l'industrie laitière de Sidi Saada.

Les analyses physico-chimiques ont montré une minéralisation élevée des eaux utilisées puisque des valeurs significatives de la conductivité, la dureté et les chlorures ont été obtenues, reflétant la médiocrité des eaux brutes alimentant cette usine.

Parmi les paramètres qui révèlent la performance du procédé d'osmose inverse est le taux de rétention des sels. La mesure de ce paramètre a montré que les membranes d'osmose inverse rejettent efficacement les sels contenues dans l'eau d'alimentation conformément à la norme du constructeur Alfa Laval.

On outre, une amélioration du taux de rétention a été constaté comparativement à celui de l'année précédente, où ceci revient à l'efficacité du nettoyage en place proposé et mis en place l'année dernière par notre équipe de recherche. Ce résultat peut également informer sur la validité de la durée de vie des membranes d'osmose inverse qui peuvent être encore exploitées par l'unité laitière.

Mots clés : traitement d'eau saumâtre, osmose inverse, performance, taux de rétention des sels, industrie laitière

ABSTRACT

The aim of this work is to study the performance of reverse osmosis membranes in brackish water treatment, issued from Yellel – Relizane drilling, used in the Sidi Saada dairy industry.

The physico-chemical analyses showed a high mineralization of the waters used since significant values of conductivity, hardness and chlorides were obtained, reflecting the mediocrity of the raw waters feeding this plant.

Among the parameters that reveal the performance of the reverse osmosis process is the salt retention rate. Measurement of this parameter has shown that reverse osmosis membranes effectively reject salts contained in feed water in accordance with the Alfa Laval manufacturer's standard.

In addition, an improvement in the retention rate was observed compared to that of the previous year, where this comes down to the effectiveness of the cleaning-in-place proposed and implemented last year by our research team. This result may also inform about the validity of the service life of reverse osmosis membranes which can still be exploited by the dairy unit.

Keywords: brackish water treatment, reverse osmosis, performance, salt retention rate, dairy industry