



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic republic of Algeria
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة عبد الحميد بن باديس – مستغانم
Abdel Hamid Ibn Badis University – Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculty of Sciences and Technology
قسم هندسة الطرائق
Department of Process Engineering



N° d'ordre : M...../IP/2021

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Industries pétrochimiques

Option : Génie pétrochimique

Thème

ETUDE DU PROCÉDE ET DE LA CONDUCTIVITE DE DESSALEMENT DE L'EAU DE
MER DE LA STATION DE MOSTAGANEM

Présenté par

1- BOUABDALLAH HALIME

2- BEHILIL MED. EL-AMINE

Soutenu le ... /...../ 2021 devant le jury composé de :

| | | | | |
|-----------|---|------------------------------|---------------|--------------------------|
| Président | : | MEROUANI | Grade : PR | Université de Mostaganem |
| Examineur | : | BELLOUL | Grade : Dr | Université de Mostaganem |
| Examineur | : | MEZOUAGH | Grade : Dr | Université de Mostaganem |
| Encadrant | : | KHEDIM M ^{ed} Amine | Grade : M.A.A | Université de Mostaganem |

REMERCEMENTS

Avant tout, j'exprime mes remerciements au bon Dieu, le tout puissant, qui nous m'a donné la santé, la force et le courage pour accomplir ce modeste travail.

J'adresse également ma profonde gratitude et à toute ma reconnaissance à mon encadreur, Monsieur KHEDIM M^{ed} Amine.

Je tiens aussi à remercier Madame MOUSSAOUI Hassiba, responsable du laboratoire de contrôle de la qualité et Monsieur GOULMANE Abderrazak, directeur de production à l'usine de dessalement de Mostaganem pour leur accueil chaleureux et la confiance qu'ils m'ont accordé ainsi qu'à Monsieur KHSIRE Fodil.

Je saisis aussi, cette opportunité pour remercier l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation et à toutes les personnes qui de près ou de loin, aidé à la réalisation de ce travail et aux membres du jury pour la lecture et les critiques de ce rapport.

Sommaire

CHAPITRE I : GENERALITES

| | |
|---|----|
| I-1- Introduction | 01 |
| I.2 - Caractéristiques des eaux marines et saumâtres | 01 |
| I.2.1 -Les eaux marines | 01 |
| I.2.2- Les eaux saumâtres..... | 02 |
| I.3- Les principales technologies de dessalement des eaux | 02 |
| I.3.1- L'osmose inverse | 03 |
| I.3.1.1- Principe de l'osmose inverse | 03 |
| I.3.1.2- Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse..... | 05 |
| I.3.2- Electrodialyse | 06 |
| I.4- Les procédés de distillation | 07 |
| I.4.1- Le procédé de distillation à détente étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF). | 08 |
| I.4.2- Le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effect distillation MED)..... | 09 |
| I.4.2.1- Plusieurs technologies d'évaporateurs multiples effets existent..... | 09 |

CHAPITRE II : UNITE DE DESSALEMENT DE MOSTAGANEM

| | |
|--|----|
| II- Unité de dessalement de Mostaganem | 12 |
| II.1- Stations de dessalement en Algérie | 12 |
| II.2- Description de la station de Mostaganem..... | 12 |
| II.2.1- Tours et tuyauterie de captage | 13 |
| II.2.2- Description et fonctionnement normal des installations des procès | 14 |
| II.2.2.1- Conditionnement chimique | 14 |
| II.2.2.2- Sous système de filtration | 16 |
| II.2.2.3- Système de microfiltration..... | 18 |
| II.2.2.4- Système l'osmose inverse | 18 |
| II.2.2.5- Système de Pompage Haut Pression, Pompe Booster et Récupérateur d'Energie..... | 20 |
| II.2.2.6- Châssis d'osmose inverse | 20 |
| II.2.2.7- Nettoyage chimique | 21 |
| II.2.2.8- Système de ré minéralisation et conditionnement de l'eau osmotique..... | 22 |
| II.2.2.9- Système de recirculation du ré minéralisation | 23 |
| II.2.2.10- Système de lavage de lits de calcite..... | 24 |

CHAPITRE III: CONTROLE DE QUALITE

| | |
|--|----|
| III- CONTROLE DE QUALITE | 25 |
| III.1- Analyse physico-chimique..... | 25 |
| III.1.1- Mesure de la température | 25 |
| III.1.2- Mesure du pH..... | 25 |
| III.1.3- Mesure la turbidité | 25 |
| III.1.4- Mesure de la conductivité | 26 |
| III.1.5- Détermination de la dureté de l'eau | 26 |
| III.1.6- Détermination du titre d'alcalinité TA | 27 |
| III.1.7- Mesure de la matière totale dissoute MTD | 28 |
| III.1.8- Mesure de la matière en état stationnaire MES | 30 |
| III.1.9- Mesure de la Chlorine | 32 |
| III.1.9.1- Le pH-mètre | 32 |
| III.1.9.2- Le conductimètre | 33 |
| III.1.9.3- Le turbidimètre | 33 |
| III.2- Analyse Bactériologique | 34 |

CHAPITRE III: LA CONDUCTIVITE

| | |
|--|----|
| III- LA CONDUCTIVITE | 35 |
| III.1- La conductivité électrique | 35 |
| III.2- Mesure de la conductivité | 35 |
| III.3- Les différentes problématiques de conductivité et les solutions proposées | 35 |
| III.3.1- Problématiques de conductivité | 35 |
| III.3.2- Les principaux raisons de l'augmentation de la conductivité des eaux | 36 |
| III.3.3- Solution proposé | 36 |
| | |
| CONCLUSION | 37 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHI | 38 |

CHAPITRE 1

GENERALITE

I.1- Introduction

La terre est riche en eau, couvrant 1,38 milliard de kilomètres carrés. Cependant, la majeure partie est composée d'eau de mer (97,2 %) et de glace (2,15 %) qui ne peuvent pas être utilisées directement. L'eau douce facilement disponible (lacs, rivières, certaines eaux souterraines) ne représente que 0,07 % des ressources totales, soit environ 1 million de kilomètres carrés. Mais la répartition de cette eau est très inégale. En fait, 10 pays se partagent 60 % des réserves d'eau douce et 29 autres pays (principalement en Afrique et au Moyen-Orient) sont confrontés à des pénuries chroniques d'eau douce. Selon les données de l'Institut des ressources en eau, dans ces pays, 250 millions de personnes aujourd'hui ne satisfont pas à la norme minimale d'eau domestique de 1 000 mètres cubes par personne et par an. 400 millions de personnes vivent dans un état de pénurie d'eau, et on estime qu'il y a une pénurie d'eau de 1 000 à 2 000 mètres cubes par habitant chaque année. Et on estime que 2,5 milliards de personnes pourraient souffrir du manque d'eau en 2050 compte-tenu de l'évolution de la démographie et de l'augmentation des consommations d'eau.

Pour faire face à cette pénurie annoncée d'eau, de nouvelles techniques de production d'eau potable devront être mises en place pour satisfaire les besoins de la population croissante. Une des techniques prometteuses pour certains pays est le dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres. Les techniques de dessalement de l'eau de mer sont opérationnelles depuis de nombreuses années. Mais leur coût (de 1 à 2 euros / m³) limite souvent leur utilisation aux pays riches. Cependant dans les dernières années, la capacité des usines de dessalement s'est fortement accrue et les coûts de production par m³ ont connu une forte diminution.

I.2- Caractéristiques des eaux marines et saumâtres

I.2.1- Les eaux marines

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité moyenne des eaux des mers et océans est de 35 g.L⁻¹ (27,2 g.L⁻¹ de NaCl, 3,8 g.L⁻¹ de MgCl₂, 1,7 g.L⁻¹ MgSO₄, 1,26 g.L⁻¹ CaSO₄, 0,86 g.L⁻¹ K₂SO₄).

Cette salinité peut être différente dans le cas de mers fermées :

- mer Méditerranée : 36 à 39 g.L⁻¹,
- mer Rouge : environ 40 g.L⁻¹,
- mer Caspienne : 13 g.L⁻¹,
- mer Morte : 270 g.L⁻¹,

- Golfe Arabo-Persique : 36 à 39 g.L⁻¹.

Le pH moyen des eaux de mer varie entre 7,5 et 8,4 : l'eau de mer est un milieu légèrement basique.

I.2.2- Les eaux saumâtres

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le CaCO₃, le CaSO₄, le MgCO₃ et le NaCl.

I.3- Les principales technologies de dessalement des eaux

Les technologies actuelles de dessalement des eaux sont classées en deux catégories, selon le principe appliqué :

- Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases : la congélation et la distillation.
- Les procédés utilisant des membranes : l'osmose inverse et l'électrodialyse.

Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau de mer. En effet, ces deux procédés sont les plus commercialisés dans le marché mondial du dessalement. Les autres techniques n'ont pas connu un essor important dans le domaine à cause de problèmes liés généralement à la consommation d'énergie et/ou à l'importance des investissements qu'ils requièrent.

Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagé, toutes les installations de dessalement comportent 4 étapes :

- une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière,
- un prétraitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tarte,
- le procédé de dessalement lui-même,
- le post-traitement avec une éventuelle reminéralisations de l'eau produite.

A l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement, elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre.

I.3.1- L'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de 10-7 mm de taille.

L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement celle électrique consommée principalement par les pompes haute pression.

La teneur en sels de l'eau osmosée est de l'ordre de 0,5 g.L⁻¹.

I.3.1.1- Principe de l'osmose inverse

On appelle osmose le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration.

Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes (figure I.1). Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer.

Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique.

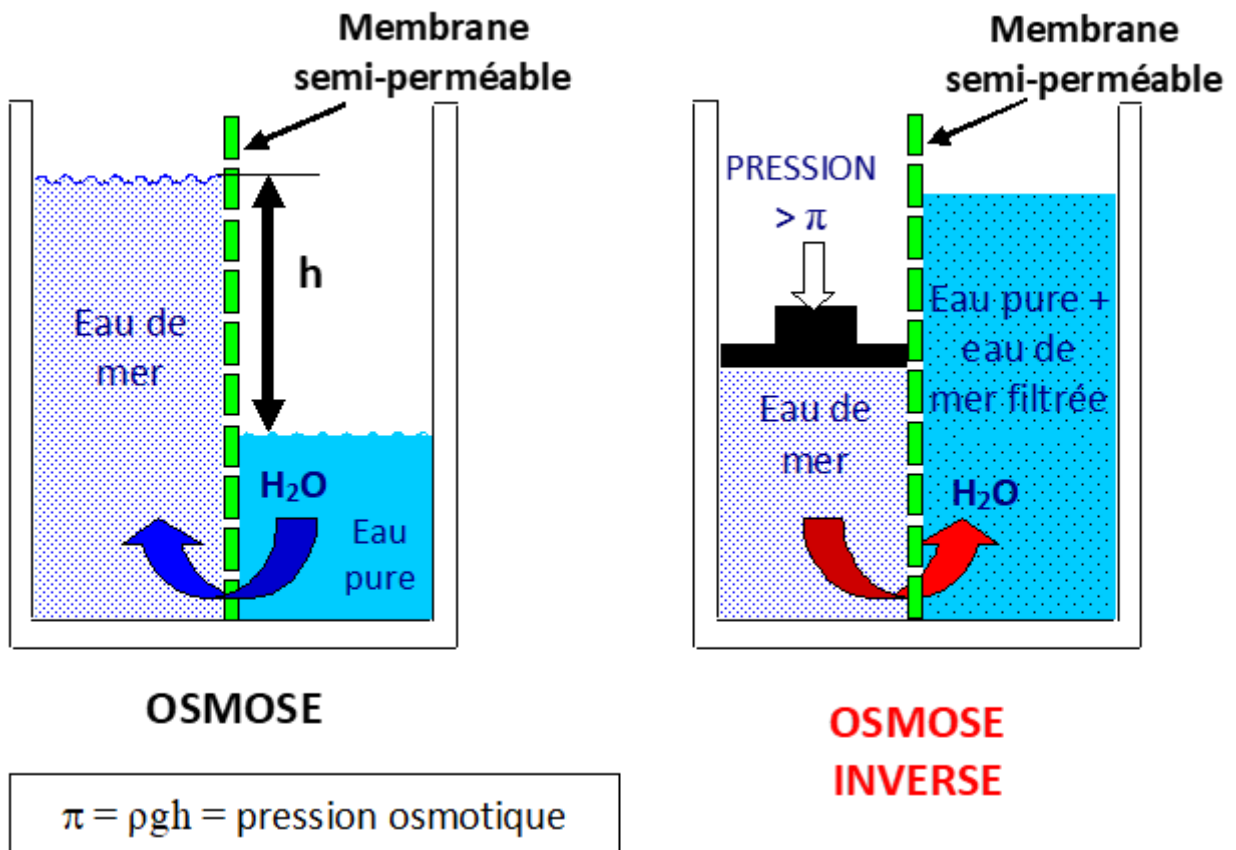


Figure I.1 : Osmose et osmose inverse

Une augmentation de la pression au delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique (voir figure I.1), c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse.

Pour les solutions suffisamment diluées, la pression osmotique notée π peut être calculée d'après la loi de Van't Hoff :

$$\pi = i \times C \times R \times T$$

Où :

i : est le nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte,

C : est la concentration en sels en mol.m^{-3}

R : est la constante des gaz parfaits $R = 8,314 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$

T : est la température absolue de la solution en Kelvin.

Application :

La pression osmotique d'une eau à 20°C contenant 35 g de chlorure de sodium par litre vaut :

$$\pi = 2 * (35 * 103 / 58,5) * 8,314 * 293 = 29,14 * 105 \text{ Pa} = 29,14 \text{ bar.}$$

Le débit spécifique J_1 (débit massique par m^2 de membrane) d'eau osmosée produite est proportionnel à la différence entre la pression appliquée P et la pression osmotique π de la solution concentrée.

$$J_1 = A * (P - \pi), \text{ où } A \text{ est le coefficient de perméabilité vis-à-vis de l'eau pure.}$$

Le flux spécifique de sel traversant la membrane est quant à lui proportionnel à la différence de concentration de part et d'autre de la membrane.

$$J_2 = B * \pi C, \text{ où } B \text{ est le coefficient de perméabilité vis-à-vis du sel.}$$

I.3.1.2. Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse

Les éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse sont schématisés sur la (figure I.2).

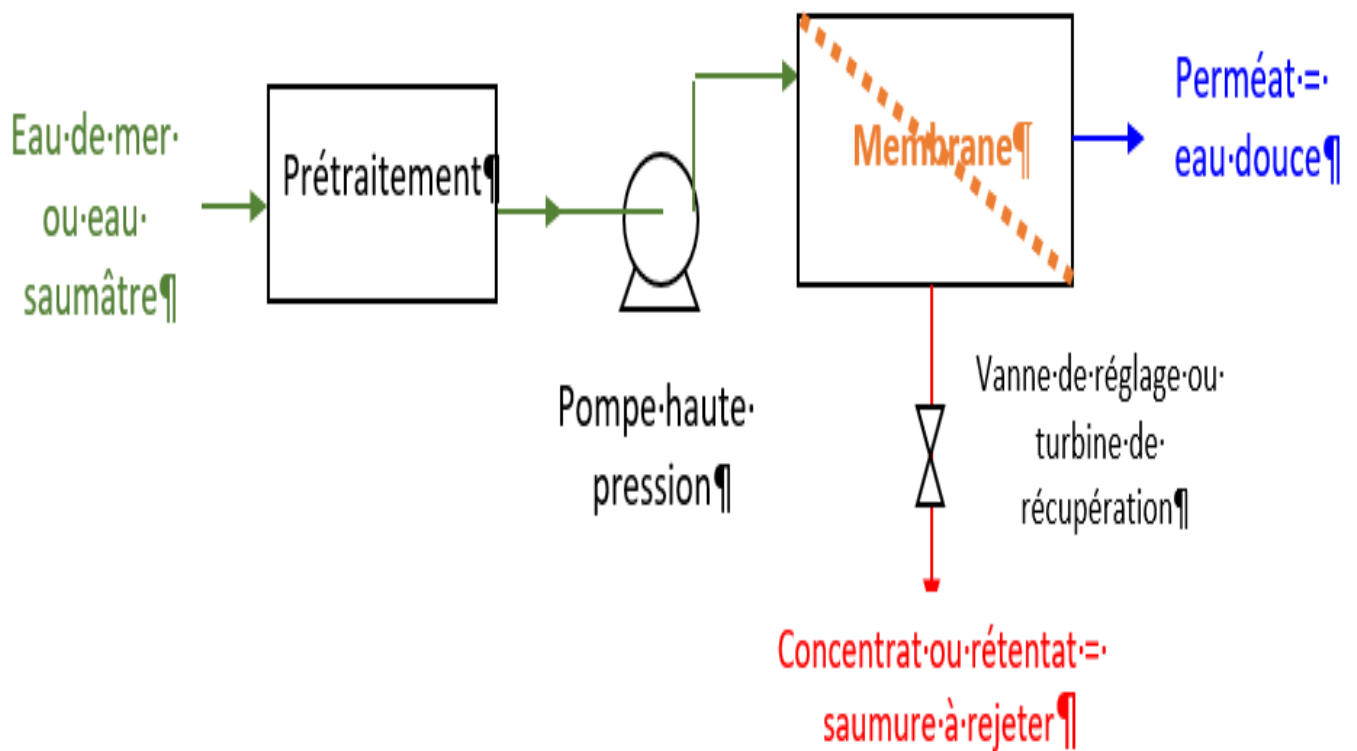


Figure I.2 : Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse

Le dessalement par osmose inverse nécessite d'abord un prétraitement très poussé de l'eau de mer pour éviter le dépôt de matières en suspension sur les membranes qui conduirait très rapidement à une diminution des débits produits.

Il est nécessaire de retenir toutes les particules de dimension supérieure à 10 à 50 μm selon le type de module d'osmose inverse. Ceci est réalisé à l'aide d'une préfiltration grossière puis d'une filtration sur sable pour éliminer les matières en suspension les plus grosses. Puis un traitement biocide et une acidification sont nécessaires pour éviter le développement de microorganismes sur la membrane et éviter la précipitation de carbonates. Enfin une filtration sur cartouches permet de retenir les particules de taille de l'ordre de quelques dizaines de μm qui n'ont pas été retenues par le filtre à sable.

La pompe haute pression permet ensuite d'injecter l'eau de mer dans le module d'osmose inverse dans lequel se trouvent les membranes.

De plus, un deuxième phénomène intervient lors de l'osmose inverse, il s'agit de la polarisation de concentration de la membrane. En effet, au cours du temps, la concentration de la solution salée augmente puisque la majorité des molécules sont retenues d'un seul côté de la membrane. De ce fait, la pression osmotique augmente également près de la couche limite, avec des risques de précipitation des composés à faible produit de solubilité. Pour un même rendement, la pression à appliquer est donc plus élevée. Pour éviter ce phénomène on balaye la membrane du côté de la solution salée par un flux d'eau continu. Toute l'eau n'est pas filtrée, une partie sert à nettoyer la membrane. Ce procédé est donc semblable à une filtration tangentielle. L'eau non filtrée est appelée retentât tandis que l'eau qui a traversé la membrane est appelée perméat.

Afin de limiter la consommation d'énergie du procédé, on peut placer sur le circuit du retentât une turbine qui permet de récupérer une partie de l'énergie contenue dans ce fluide sous haute pression.

I.3.2. l'électrodialyse

Cette méthode repose, elle aussi, sur une séparation sels-eau en faisant appel à une membrane semi-perméable mais le principe physique utilisé est différent.

L'électrodialyse désigne le transfert des ions à travers une membrane qui leur est perméable, sous l'effet d'un champ électrique.

Ainsi, les ions d'un sel dissous dans l'eau, (Na^+ et Cl^- , pour l'eau de mer) peuvent se déplacer sous l'action d'un champ électrique créé par deux électrodes trempant dans le liquide. Les ions positifs ou cations (Na^+) sont attirés par l'électrode négative (ou cathode) tandis que les ions négatifs (Cl^-) sont attirés par l'électrode positive.

Dans l'électrodialyse, on intercale alternativement des membranes filtrantes soit imperméables aux anions et perméables aux cations, soit imperméables aux cations et perméables aux anions. On obtient ainsi une série de compartiments à forte concentration de sels et d'autres à faible concentration.

L'électrodialyse est bien adaptée aux eaux saumâtres dont la salinité est assez faible, inférieure à celle de l'eau de mer. C'est une technique assez peu consommatrice en énergie mais elle ne convient qu'à la faible préparation de liquide.

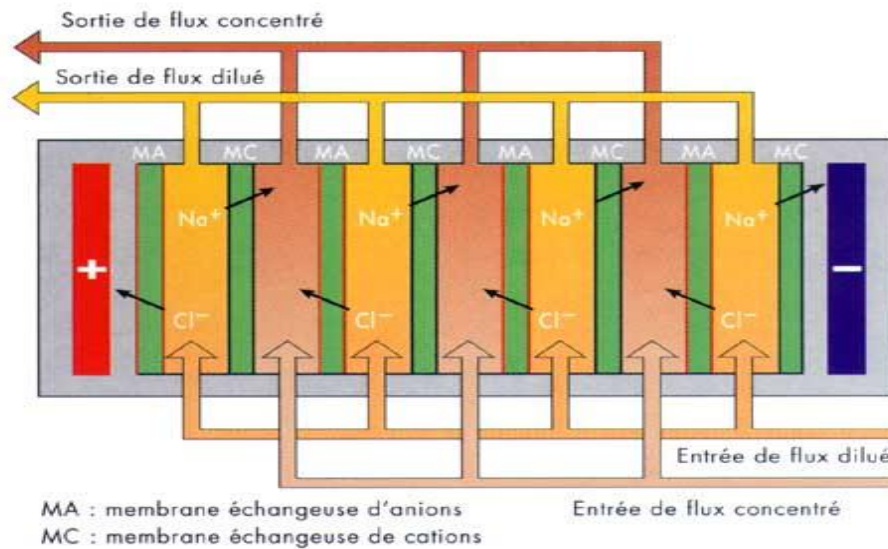


Figure I.3.2 : procédé d'électrodialyse

I.4- Les procédés de distillation

Dans les procédés de distillation, il s'agit de chauffer l'eau de mer pour en vaporiser une partie. La vapeur ainsi produite ne contient pas de sels, il suffit alors de condenser cette vapeur pour obtenir de l'eau douce liquide. Il s'agit en fait d'accélérer le cycle naturel de l'eau. En effet l'eau s'évapore naturellement des océans, la vapeur s'accumule dans les nuages puis l'eau douce retombe sur terre par les précipitations. Ce principe de dessalement très simple a été utilisé dès l'Antiquité pour produire de très faibles quantités d'eau douce sur les bateaux.

L'inconvénient majeur des procédés de distillation est leur consommation énergétique importante liée à la chaleur latente de vaporisation de l'eau. En effet pour transformer un kg d'eau liquide en 1 kg d'eau vapeur à la même température il faut environ 2250 kilojoules (si le changement d'état se fait à 100 °C). Afin de réduire la consommation d'énergie des procédés industriels, des procédés multiples effets qui permettent de réutiliser l'énergie libérée lors de la condensation ont été mis au point.

Deux procédés se partagent le marché du dessalement thermique : le procédé de distillation à détente étagée (Multi-Stage Flash distillation MSF) et le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effect distillation MED).

I.4.1- Le procédé de distillation à détente étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF).

Ce procédé dit Flash consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage ; lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120 °C, elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore (voir figure I.4.1) puis va se condenser sur les tubes condenseurs placés en haut de l'enceinte, et l'eau liquide est recueillie dans des réceptacles en dessous des tubes. C'est l'eau de mer chaude qui se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation, l'ébullition s'arrête quand l'eau de mer a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré. Le phénomène de flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus faible. La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détente successives dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle.

Pour chauffer l'eau de mer jusqu'à 120 °C, l'eau de mer circule d'abord dans les tubes des condenseurs des différents étages en commençant d'abord par le dernier étage où la température est la plus faible, elle est alors préchauffée en récupérant la chaleur de condensation de la vapeur d'eau. Elle est finalement portée à 120 °C grâce à de la vapeur à une température supérieure à 120 °C produite par une chaudière ou provenant d'une centrale de production d'électricité.

On remarque lors du phénomène de flash que des gouttelettes d'eau salée peuvent être entraînées avec la vapeur, elles sont séparées grâce à un dévésiculateur constitué par une sorte de grillage qui limite le passage des gouttelettes qui retombent alors au fond de l'enceinte.

L'avantage principal du procédé MSF est que l'évaporation de l'eau de mer ne se produit pas autour des tubes de chauffe puisque le liquide « flashe » ceci limite les risques d'entartrage.

L'énergie requise est principalement l'énergie thermique à fournir à la chaudière, cette énergie peut être peu coûteuse si on récupère de la vapeur basse pression à la sortie d'une turbine de centrale électrique. Il faut également fournir de l'énergie électrique pour les pompes de circulation de l'eau de mer.

Le procédé MSF ne permet pas une flexibilité d'exploitation. Aucune variation de production n'est tolérée, c'est pourquoi ce procédé est surtout utilisé pour les très grandes capacités de plusieurs centaines de milliers de m³ d'eau dessalée par jour.

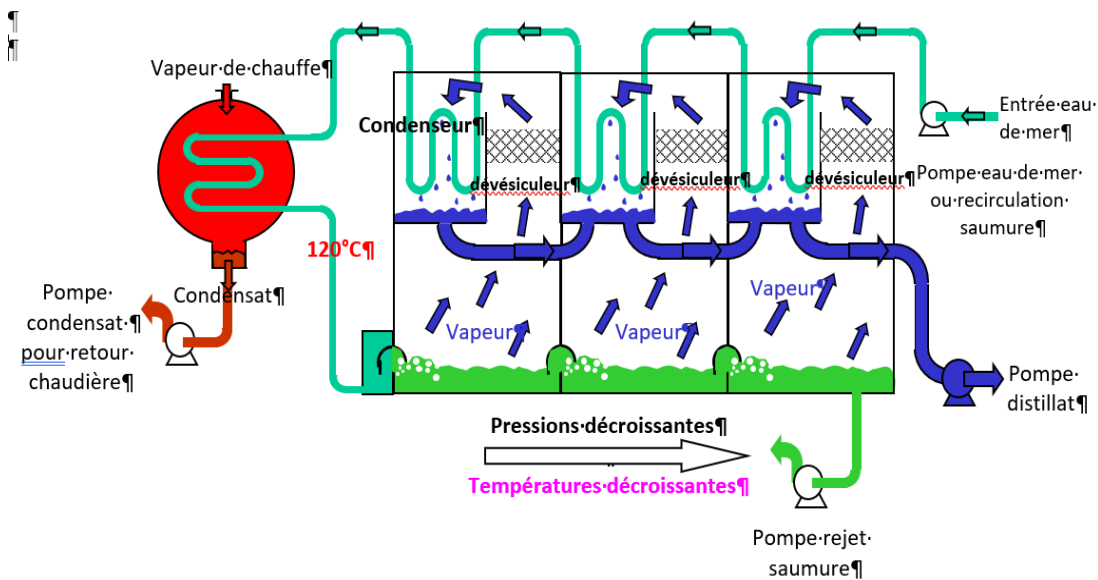


Figure I.4.1 : Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF) à 3 étages

I.4.2- Le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effect distillation MED).

Ce procédé est basé sur le principe de l'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variant entre 70 et 80°C. L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange, contrairement au cas du procédé précédent, où elle est assurée par détente au sein des étages successifs. La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par une vapeur produite par une chaudière, soit par une eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur. La vapeur ainsi produite dans le 1er effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le 2ème effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le 2ème effet et ainsi de suite (voir figure I.4.1). Ainsi seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe. La multiplication du nombre d'effets permet donc de réduire la consommation spécifique (énergie/m³ d'eau douce produite).

I.4.2.1- Plusieurs technologies d'évaporateurs multiples effets existent :

- Les évaporateurs multiples effets à tubes horizontaux arrosés sont les appareils les plus utilisés actuellement. Dans ces appareils le fluide de chauffage s'écoule dans les tubes horizontaux tandis que l'eau de mer à évaporer est arrosée de façon à s'écouler sous forme de film le plus uniforme possible sur l'extérieur des tubes. La vapeur produite dans la calandre (enceinte cylindrique qui contient le faisceau de tubes) est ensuite envoyée dans les tubes de l'effet suivant où elle cédera son énergie de condensation. Ces évaporateurs présentent un très bon coefficient d'échange grâce à l'écoulement en film de l'eau de mer. C'est la raison pour laquelle ils remplacent actuellement les plus anciens évaporateurs à faisceau de tubes noyés dans lesquels les tubes étaient plongés dans l'eau de mer.

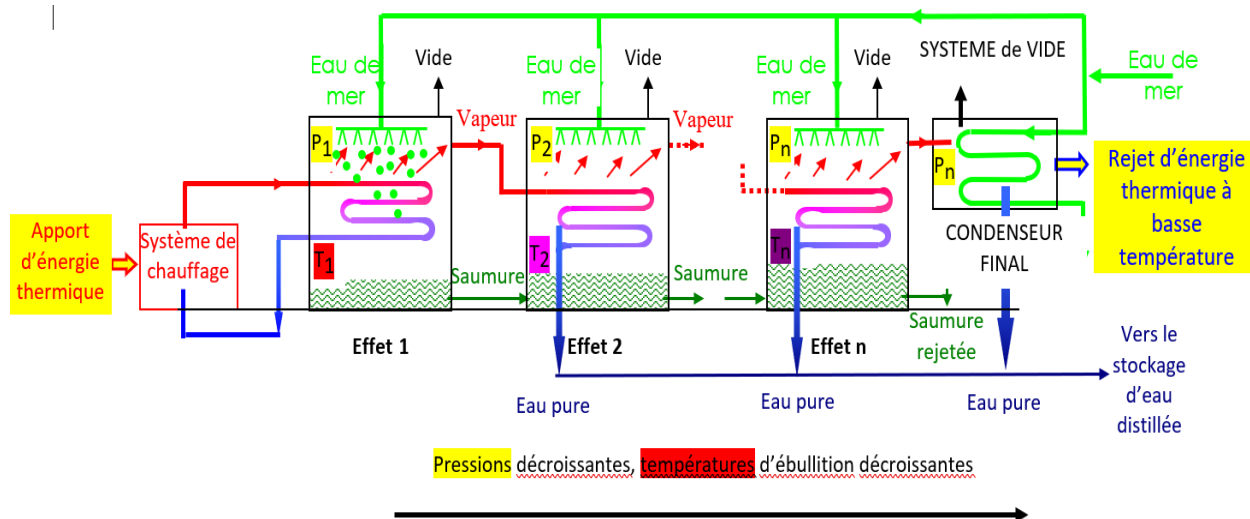


Figure I.4.2.1-a : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED)

- Des évaporateurs multiples effets à plaques sont également en cours de développement. L'eau de mer à évaporer s'écoule alors sous forme de film mince le long d'une mince plaque métallique chauffée par la vapeur provenant de l'effet précédent qui s'écoule le long de l'autre face de la plaque métallique. De nombreuses plaques entre lesquelles s'écoulent alternativement l'eau de mer et la vapeur de chauffage sont associées en parallèle pour constituer un effet. La vapeur produite est recueillie dans une calandre cylindrique dans laquelle sont placées les plaques. Cette vapeur est ensuite envoyée entre les plaques situées dans une calandre qui constitue le deuxième effet et ainsi de suite.

Un système compact à bases de plaques EasyMED constitué de cellules élémentaires comprenant une zone d'évaporation et une zone de condensation brevetée en 1998 est également en cours de développement. L'agencement judicieux de cellules élémentaires pour que chaque zone d'évaporation se situe entre deux zones de condensation de l'effet précédent permet d'obtenir un appareil plus compact puisqu'il ne nécessite pas une volumineuse calandre pour chaque effet.

L'énergie requise est principalement l'énergie thermique à fournir à la chaudière produisant le fluide de chauffage pour le premier effet. On peut cependant utiliser des chaleurs résiduelles en couplant le procédé MED à des usines de production d'électricité ou des usines rejetant produisant les eaux résiduelles à des températures de l'ordre de 80 °C. Il faut également de l'énergie électrique pour les pompes de circulation et la production de vide.

Afin de limiter la consommation d'énergie thermique, il est aussi possible d'utiliser la compression mécanique de vapeur. Ceci est possible dans le cas de l'évaporation simple ou multiple effet. La vapeur produite dans le dernier effet ou dans l'effet unique (pour de petites unités) est aspirée par un compresseur. Après

compression, la température de saturation de la vapeur haute pression est augmentée. Cette vapeur peut donc être utilisée (elle est envoyée dans les tubes du faisceau tubulaire) pour porter à ébullition l'eau de mer dans l'évaporateur où règne une pression plus faible. La vapeur haute pression est ainsi condensée et se transforme en eau distillée liquide et le cycle se reproduit avec la vapeur produite par l'évaporation partielle de l'eau de mer.

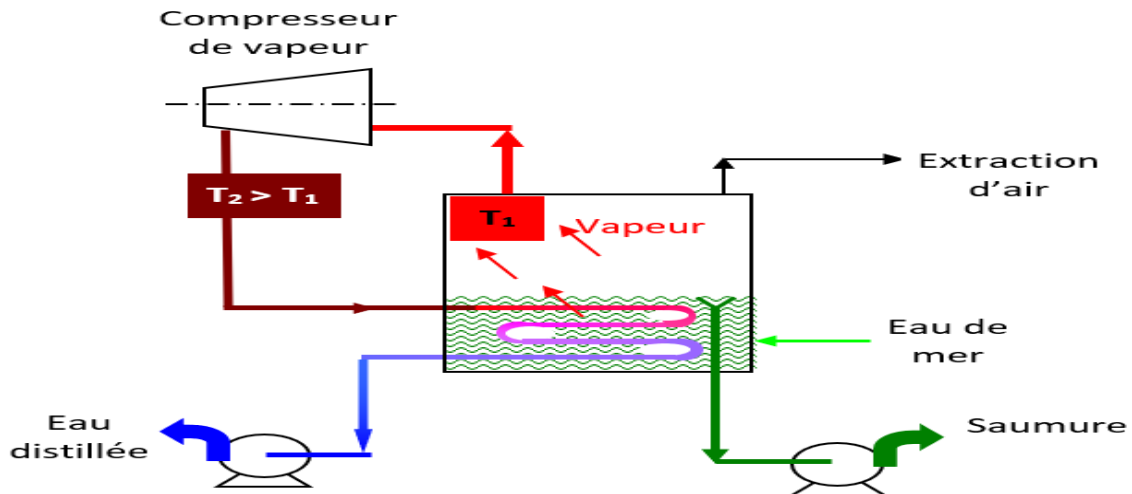


Figure I.4.2.1 - b : Schéma de principe d'une unité d'évaporation simple-effet avec compression de vapeur

Dans le procédé MED, l'ébullition de l'eau de mer au sein de chaque cellule (effet) se fait au contact de la surface d'échange de chaleur, il y a des risques d'entartrage dû à la précipitation de sels tels que CaSO_4 ou CaCO_3 dont la solubilité diminue quand la température augmente. Pour limiter ces risques, il faut donc utiliser un traitement à l'acide et limiter la température de tête (du 1er effet ou étage) à moins de 70°C .

A titre d'information, pour comprendre la nécessité de réduire la pression dans les systèmes multiples-effets ou à détente étagées, la (figure 7) donne l'évolution de la température d'ébullition de l'eau en fonction de la pression.

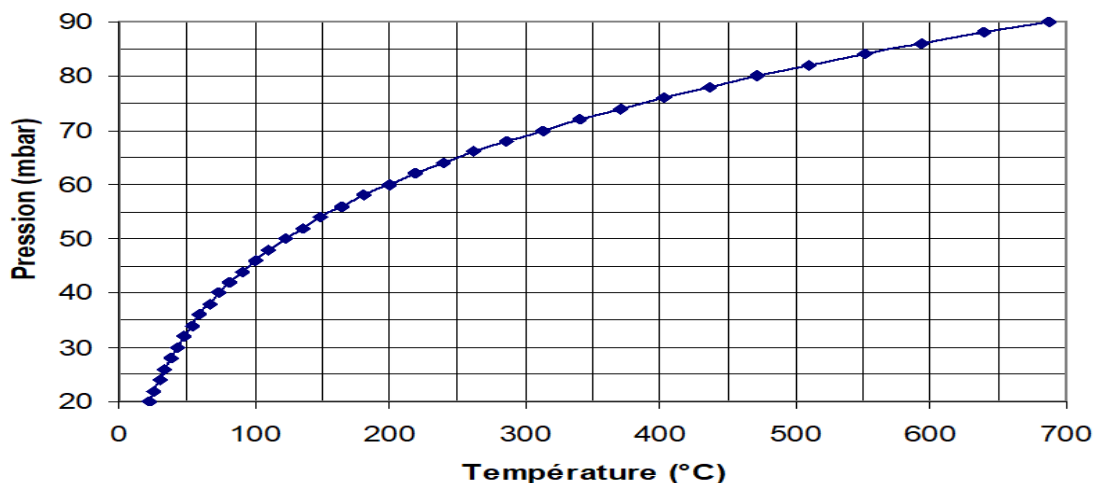


Figure I.4.2.1-c : Évolution de la température d'ébullition de l'eau en fonction de la pression.

CHAPITRE II : UNITE DE DESSALEMENT DE MOSTAGANEM

II.1- Stations de dessalement en Algérie

Le littoral de l'Algérie compte 21 stations de dessalement d'eau de mer réparties sur les 14 wilayas côtières et 2 autres en construction³, qui relèvent du Ministère des Ressources en Eau (MRE). Elles fournissent 17% de l'eau consommée dans le pays et alimente 6 millions de personnes avec un volume de 2,6 millions m³/jour.

II.2- Description de la station de Mostaganem

La wilaya de Mostaganem exploite le système MAO (barrages de Chlef et Kerarda), le barrage de Kramis et la station de dessalement de l'eau de mer de "Sonacter" et les forages pour couvrir les besoins quotidiens en eau potable estimés à plus de 200.000 m³. L'usine de dessalement d'eau est conçue pour fournir l'eau potable satisfaisant les exigences de qualité conformément aux prescriptions exigées et enfin avoir une consommation spécifique d'énergie électrique inférieure à la consommation spécifique d'énergie électrique garantie (3.40 kWh/m³).

GS INIMA et AQUALIA sont des sociétés espagnoles spécialisées dans des activités associées au traitement de l'eau avancée. En partenariat avec l'Union Temporaire des Entreprises Opération & Maintenance Mostaganem UTE O&M MTM, ils ont créé une station de dessalement des eaux en 2005 qui se trouve à Sonacter dans la ville de Mostaganem. Son exploitation fut en 2010 [1].



Figure II.2-a : Station de dessalement de l'eau de mer Unité de Mostaganem

Le projet de station de dessalement d'eau de mer de Mostaganem fait partie du large programme de construction d'usines de dessalement entrepris par le gouvernement algérien pour fournir à l'Algérie une ressource en eau potable et permettre à la nappe phréatique de se renouveler. Le procédé de traitement d'eau de cette station comprend :

- Un système de captage et pompage d'eau de mer.
- Un système de prétraitement de l'eau de mer par filtration et microfiltration.
- Un système déminéralisation de l'eau microfiltration par osmose inverse.
- Un système de reminéralisations et conditionnement de l'eau déminéralisé.
- Un système de pompage de l'eau reminéralisé (eau commercialisable) vers le réseau de distribution.
- Un système d'évacuation de saumure et sous-produits.

Le processus de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse (Unité de Mostaganem) est représenté par la figure5. Les données (énergie, eau brute, produits chimiques,...) varient en fonction du régime de travail, du mécanisme ainsi que des dimensions de l'usine. Le fonctionnement de l'usine est automatisé, grâce à un ordinateur et plusieurs Automates [1].

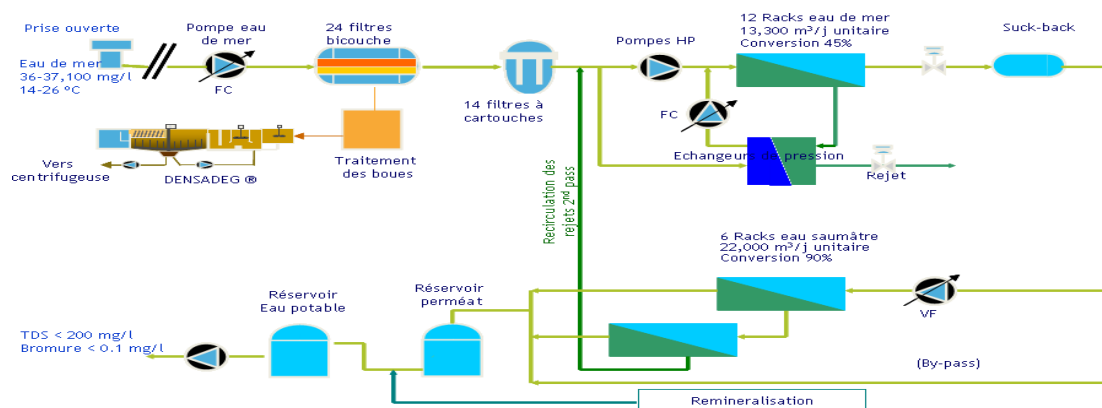


Figure II.2-b : Schéma général de dessalement de l'eau de mer.

II.2.1- Tours et tuyauterie de captage

Le captage de l'eau de mer se fait à travers de deux tours de prise connectées au réservoir de pompage d'eau de mer par deux tuyauteries en polyéthylène d'haute densité de 1.800 mm de diamètre ou l'eau doit circuler à une vitesse d'environ 1 m/s. Les tours de prise sont submergées à une distance de la cote d'environ 2500m et 16,5m de profondeur. L'aspiration des pompes d'eau de mer sera normalement plus haute que le niveau d'eau du réservoir de captage. Le système d'amorçage des pompes d'eau de mer a pour objet extraire l'air des conductions d'aspiration des pompes d'eau de mer. Le système pour amorçage des pompes d'eau de mer composé de deux groupes à vide équipés avec deux pompes de 4kw chaque un. Le démarrage et l'arrêt des

pompes sont commandés par un détecteur du vide installé dans le réservoir du groupe. Le détecteur du vide placé dans le linge de raccordement aux pompes de captage fait un signal d'amorçage des pompes nécessaires pour son démarrage. Normalement le système d'amorçage sera à l'arrêt et les vannes seront fermées. Le système ne peut pas amorcer qu'une pompe à la fois. Le système de pompage d'eau de mer a pour objet fournir au prétraitement de l'eau de mer en quantité et à la pression nécessaire pour produire la quantité d'eau potable désirée. Les pompes de captage de l'eau de mer ont été conçues pour pomper un débit de 2380m³/h à une pression de 67 bars. Néanmoins ces pompes sont équipées avec des variateurs de fréquence pour permettre le changement du point de travail pour maintenir une pression au niveau de l'aspiration des pompes d'haute pression. L'aspiration des pompes de haute pression préalable à l'osmose est maintenue à une pression de 2.5 bars grâce à des échangeurs de fréquence. Dans le procès d'impulsion des pompes sont placées des vannes de retenue et vannes de papillon motorisées, d'entre elles deux unités pour les pompes de secours et raccordées à chaque une de linge de prétraitement. Les pompes de secours et raccordées à chaque une de linge de prétraitement [4].



Figure II-2.1 : Système de pompage de l'eau de mer

II.2.2- Description et fonctionnement normal des installations des procès Système de prétraitement

Le Système de prétraitement comprend 3 sous-systèmes à savoir un sous-système de conditionnement chimique, un sous-système de filtration, un sous-système de microfiltration.

II.2.2.1 -Conditionnement chimique

Le conditionnement de l'eau est réussi par l'ajout des suivants réactifs :

- Dosage d'hypochlorite de sodium

Il s'agit d'un système de dosage pour la désinfection de l'eau de mer qui se compose de 3 réservoirs de 60.000 l chaque un et un skid de dosage 2+1 pompes à membrane chargées du dosage de hypochlorite de dans les tours de captage et dans le réservoir de captage .la détermination de la dose d'hypochlorite de sodium nécessaire doit être faite par analyse de l'eau de mer en laboratoire [1].

- Dosage de permanganate de potassium

Il s'agit d'un système de dosage pour l'oxydation et la désinfection de l'eau de mer. Normalement l'emploi d'hypochlorite est plus efficace, mais il y a quelques éléments pouvant apparaître dans les tours de captage et /ou les tuyauteries de prise, comme quelque types de mules, qui dans certaines étapes de développement peuvent éventuellement développer une résistance à l'attaque de l'hypochlorite de sodium.

Dans ce cas le permanganate peut s'avérer plus efficace. Le système est composé de 2 cuvettes de traitement de 1.000 L chacune et d'un skid de dosage 1+1 pompes à membrane chargées du dosage du permanganate de potassium dans les tours de captage. Chacune des cuvettes de traitement est équipée d'un agitateur pour améliorer la répartition du produit solide et de l'eau de dilution [4].

- Dosage d'acide sulfurique

L'efficacité du processus de coagulation-floculation décrit ci-dessous est normalement plus élevée pour une valeur du pH bas. La fonction du système de dosage d'acide sulfurique est de réduire le pH de l'eau de mer pour optimiser le rendement de ces procédés. Le système est composé de 2 réservoirs de 60.000L. La dose d'acide sulfurique nécessaire sera déterminée par analyse en laboratoire du pH de l'eau de mer du réservoir de captage et/ou en mesurant l'efficacité des systèmes de coagulation-floculation -filtration avec le mesureur automatique de placé à l'aval de la microfiltration [1].

- Dosage de coagulant chlorure ferrique

Il s'agit d'un système de dosage qui vise la coagulation de l'eau brute préalablement à l'étape de filtration. Il se compose de 2 réservoirs de 40.000L chacun et d'un skid de dosage composé de pompes à membrane chargées du dosage du chlorure ferrique à l'entrée de chacune des étapes de filtration et pour chaque ligne. La dose de chlorure ferrique nécessaire sera déterminée en laboratoire ou indirectement mesurant l'efficacité du système de filtration avec le mesureur automatique de placé à l'aval de la microfiltration [4].

- Dosage de poly électrolyte

Le système de dosage de flocculant dans l'eau brute est composé de 2 réservoirs de traitement de 2.500L chacun et d'un skid de dosage composé de pompes à membrane pour le dosage de flocculant par injection dans le mélangeur statique à l'entrée de chaque étape de filtration. Chaque réservoir de traitement est équipé d'un agitateur pour améliorer la répartition du produit solide et de l'eau de dilution. La dose de poly-électrolyte nécessaire sera déterminée en laboratoire ou indirectement mesurant l'efficacité du système de filtration avec le mesureur automatique de placé à l'aval de la microfiltration [4].

- Dosage de soude caustique

L'élimination de certains ions par le système d'osmose inverse, comme le bore, est plus efficace pour des valeurs de pH élevés. La fonction du système de dosage de soude caustique est d'augmenter le pH de l'eau micro-filtrée. Le système est composé d'un réservoir de 40.000L et d'un skid de dosage composé de pompes à membrane chargées de soude caustique par injection dans les mélangeurs statiques à la sortie des filtres à cartouches. La dose de la soude caustique nécessaire sera déterminée avec le pH mètre situé à l'aval du système de microfiltration [1].

- Dosage de méta bisulfite de sodium

A l'entrée aux membranes nous avons 2 réservoirs de traitement de 10.000L et d'un skid de dosage composé de pompes à membrane chargées de méta bisulfite de sodium par injection dans le mélangeur statique à la sortie des filtres à cartouches. Les réservoirs de traitement sont munis d'une agitation pour améliorer la répartition du produit solide et de l'eau de dilution. La dose de bisulfite de sodium sera déterminée avec le mesureur de la teneur en chlore de l'eau de mer placé à l'aval de pompage de l'eau de mer [6].

- Dosage de dispersant

Il s'agit d'un système de dosage pour inhiber le tartre dans le procès d'osmose inverse qui s'applique à l'eau à l'entrée des membranes. Il est composé de 2 réservoirs de traitement de 2.500 L chacun et d'un skid de dosage composé de pompes à membrane chargée d'un agent dispersant par injection dans le mélangeur statique à la sortie des filtres à cartouches. Les réservoirs de traitement sont munis d'un agitateur pour améliorer la répartition du produit solide et de l'eau de dilution [6].

II.2.2.2- Sous système de filtration

La fonction du sous système de filtration est d'éliminer les flocons formés par les systèmes de coagulation-floculation et les particules en suspension de l'eau de mer pour protéger et améliorer la performance du système d'osmose inverse. L'antracite est une seconde étape avec des filtres à sable (figure6). Pour optimiser la durabilité des membranes d'osmose et des cartouches des micro-filtres, il est recommandé de vérifier la SDI en aval du système de filtration et en amont du système de microfiltration. Si la valeur de SDI recommandée est atteinte à la sortie de la première étape de filtration, la deuxième pourra être by passé [1].



Figure II- 2.2.2 : les filtres

L'usine est équipée avec deux lignes de filtration de première étape avec douze (12) filtres horizontaux à pression chacune, travaillant à une vitesse de 8.45m/h et à une vitesse maximale de 9.46m/h lorsque l'une des filtres soit en lavage. Chaque filtre a une surface moyenne de filtration de 91,39m² et un diamètre de 4 m d'une longueur totale 24,04 m. Le nettoyage des filtres se fait avec de l'air et de la saumure provenant du processus d'osmose. Les filtres horizontaux sont fermés avec fondes semi-elliptique, du genre KORBBOGEN. La distribution de l'eau à filtre sera réalisée à l'aide d'un collecteur perforé afin d'atteindre une distribution homogène du débit tout au long de la surface de filtration et d'améliorer une distribution homogène de l'eau et de l'air de nettoyage. Grâce à la couche d'expansion contrôlée de la couche de filtration on atteint un contact parfait entre les grains de sable lors du nettoyage, permettant une séparation correcte des impuretés adhérentes aux grains. Par cette expansion on empêche une partie de la couche filtrante de couler pendant les opérations de nettoyage ou de drainage. L'entrée et la sortie de l'eau de mer des filtres est commandée par une vanne papillon. L'entrée et la sortie du réservoir de saumure est isolé par une vanne papillon. Ce débit est employé pour réaliser un premier remplissage du réservoir de saumure pour effectuer des flushing (nettoyage à l'eau) lorsqu'on ne dispose pas de saumure, car l'osmose n'a pas encore été mise en service [1].

Par contre la filtration de la deuxième étape est effectuée comme suit, il s'agit de deux batteries munies de huit (8) filtres de pression horizontale chacune, travaillant à une vitesse de 12.87 m/h avec un maximum de 15.09 m/h lorsque l'un d'eux sera dans le nettoyage. Chaque filtre a une surface filtrante moyenne de 90.04 m² et leurs dimensions et les caractéristiques sont les mêmes que celles des filtres à sable de la première étape. Le sable se compose par des grains propres et libres d'argile, de poussière et des matières organiques. Il est libre de fer et de manganèse dans des quantités ou des morphologies qui risquent de nuire la qualité de l'eau filtrée [4].

La porosité de la masse filtrante des filtres sera réduite progressivement au fur et à mesure que les floccules et matière suspendue soit déposés sur elle. Cette situation causera :

- une augmentation des pertes de charges du système induisant une augmentation de la consommation électrique de l'usine.

- une augmentation de la vitesse de l'eau de mer traversant le reste des filtres provoque une réduction de l'efficacité du processus de filtration. Pour cette raison les filtres doivent être lavés périodiquement dès que l'on détecte une augmentation importante du différentiel de pression ou une diminution significative du débit traversant le filtre. Le lavage des filtres sera fait pour améliorer de la spongiométrie avec air et contre-lavage de la masse filtrante. Le système de nettoyage est doublé pour permettre le nettoyage simultané des deux filtres un de chaque ligne de prétraitement. Le sous-système d'injection d'air est équipé de machines tournantes avec un débit unitaire 5,500Nm³/h. La vitesse de lavage sera de 60,18 Nm³/h. Le sous-système de contre –lavage de saumure est constitué par pompes centrifuges horizontales d'aspiration axiale, de débit unitaire 1375 m³/h qu'aspire la saumure du réservoir de saumure installé en amont de l'émissaire sous-marin de rejet. La vitesse de nettoyage maximale sera de 30 m/h [1].

II.2.2.3 - Système de microfiltration

La fonction du système de microfiltration est de protéger le système d'osmose inverse empêchant ainsi le pompage à haute pression. La microfiltration ne permette de passer que des particules de taille inférieure à 5 microns. Le système de microfiltration consiste à deux lignes équipées avec neuf (9) filtre chacune. Chaque filtre est muni 360 cartouches de 1250 mm de longueur. Le débit unitaire par cartouche est de 2,85m³/h, lorsque les neuf seront en activité il atteindra celui de 3,2 m³/h. Les cartouches sont logées dans une carcasse en PREV. Les cartouches sont fabriqués en polypropylène de 1250 mm de longueur [1].

II.2.2.4 -Système l'osmose inverse :

Le système d'osmose inverse (figure 7) est le cœur de l'usine et sa fonction est de réduire la teneur en sels de l'eau micro-filtrée. Il comprend le système de nettoyage de membrane, le système de pompage haut pression et de récupération d'énergie et le châssis d'osmose inverse.



Figure II-2.2.4-a : Osmose inverse (unité de MOSTAGANEM).

- L'Osmose inverse est un procédé de purification de l'eau inspiré du phénomène chimique appelé l'Osmose. Pour mettre en place le principe de l'Osmose, on sépare 2 solutions aqueuses de concentrations différentes par une membrane semi-perméable qui ne laisse passer que l'eau pure. La solution dont la concentration est la plus basse va alors chercher à équilibrer les concentrations des 2 solutions en faisant passer de l'eau pure (H₂O) dans le compartiment de la solution dont la concentration est la plus élevée [3].

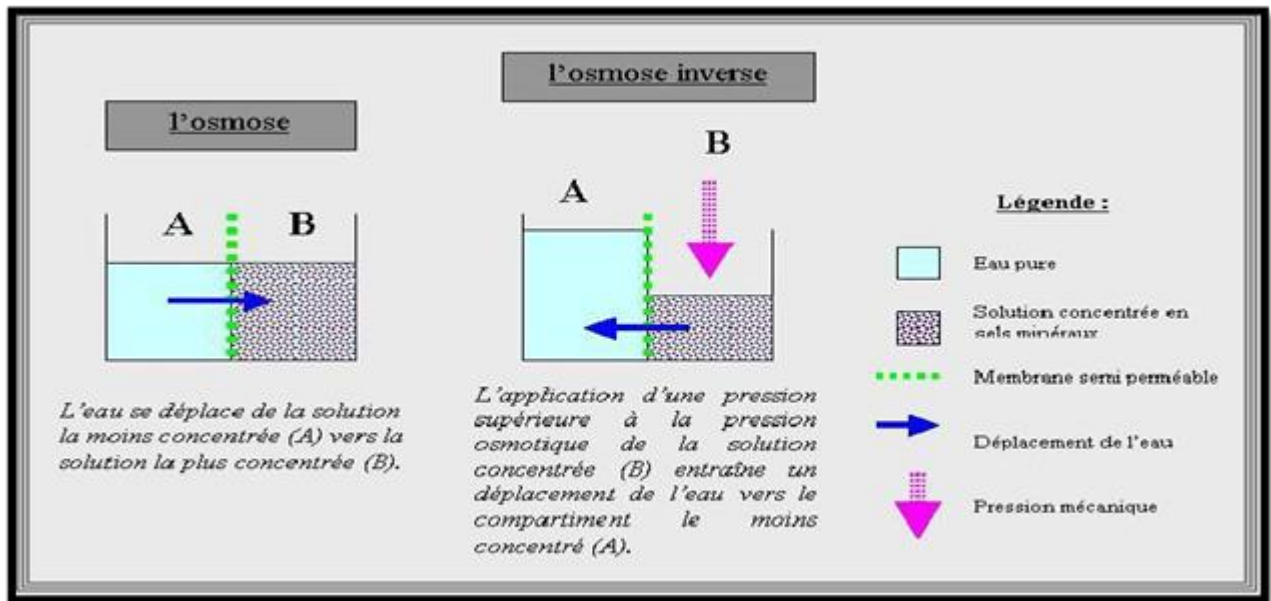


Figure II-2.2.4-b: Osmose et Osmose inverse

Pour diminuer les surfaces nécessaires à l'implantation des membranes, celle-ci sont configurées en spirale, comme l'indique (la figure 9). Les zones de circulation de l'eau d'alimentation et de reprise du perméat sont aménagées à l'aide de grilles placées entre membranes et enroulées avec elle pour former des éléments aux dimensions standardisées [3].

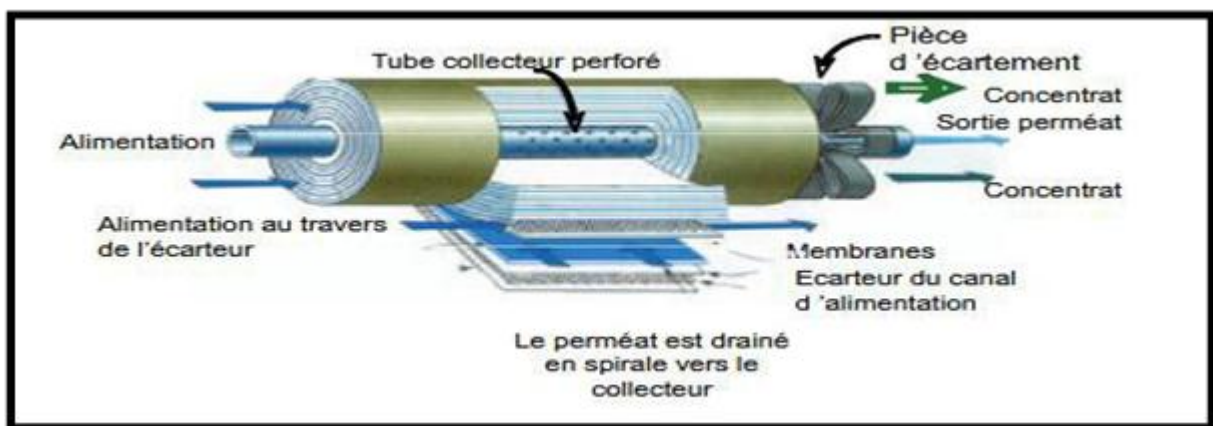


Figure II-2.2.4-c: le schéma de membrane.

II.2.2.5 - Système de Pompage Haut Pression, Pompe Booster et Récupérateur d'Énergie :

La fonction de système de pompage haute pression est d'impulser l'eau micro filtrée vers les châssis d'osmose inverse avec la pression nécessaire pour vaincre la pression osmotique en assurant la production du débit d'eau déminéralisée désirée. Approximativement le 65% du débit d'eau micro-filtrée requis sera impulsé vers les châssis par les pompes haute pression [6].

Le reste du débit d'eau micro-filtrée requis sera pressurisé jusqu'à atteindre la pression d'attaque aux membranes nécessaire avec les échangeurs de pression et des pompes Booster.

Dans les chambres isobariques l'énergie hydraulique résiduelle de la saumure est transmise à l'eau micro-filtrée. Ensuite les pompes Booster augmentent la pression de l'eau de mer poussée par les ERI, jusqu'à atteindre la pression d'alimentation aux châssis requis. L'eau micro-filtrée pressurisée par les pompes d'haute pression et les pompes Booster est impulsé vers un collecteur commun qui alimente tous les châssis de membranes d'osmose inverse. Néanmoins ce collecteur est équipé d'un certain nombre de vannes permettant travailler par unités de dessalement indépendantes. Avec cette configuration l'eau micro-filtrée impulsée par chaque pompe haute pression alimente le châssis d'osmose et l'eau micro-filtrée pressurisée par chaque pompe Booster est envoyé vers les châssis auquel elle est associée. En lignes indépendantes (deux collecteurs communs). Avec cette configuration les pompes haute pression et Booster alimentées par la même ligne de prétraitement impulsent l'eau pressurisée vers le collecteur commun qu'alimentent les châssis auxquels les pompes sont associées. Avec cette configuration toutes l'eau micro-filtrée pressurisée est impulsée vers un collecteur commun unique qui alimente toutes les châssis d'osmose [1].

II.2.2.6 - Châssis d'osmose inverse

Les membranes proposées sont de surface élevée de la marque FILMTEC. Elles sont fabriquées en polyamide aromatique et sa configuration est spirale. Les membranes sont rangées ensembles de sept unités (en série), dans un même tube de pression. De cette façon, l'eau brute pénètre axialement par un des extrémités de la carcasse traversant la membrane située en premier lieu. L'eau passe au collecteur central qui occupe l'axe géométrique de la carcasse ou elle est recueillie. L'eau de rejet arrive à la membrane suivante ou le même phénomène a eu lieu et ainsi de manière continue jusqu'au septième élément. L'eau de rejet de ce septième élément se ramasse dans l'autre extrême de la carcasse, est envoyé à l'extérieur. La conversion globale de l'ensemble avec les membranes nouvelles et travaillant aux CSR est du 45%. L'entrée dans les châssis depuis le collecteur commun est commandée par un robinet. Celle en provenance de la pompe Booster par un robinet. Les deux garantissent le mélange des débits d'entrée et de sortie aux membranes. Une vanne de retenue est placée dans l'impulsion de la pompe Booster, de manière semblable à celle placée dans l'impulsion de la pompe d'haute pression.

Afin de contrôler le bon fonctionnement des châssis , ont place plusieurs appareils de mesure à savoir un transmetteur électrique de pression pour mesurer la pression de travail des membranes, un transmetteur

électrique de pression pour mesurer la pression de sortie des membranes, un transmetteur électrique de conductivité pour contrôler la quantité couchée de l'eau d'entrée aux membranes et de l'eau dessalée produite par les membranes, un transmetteur électrique de pression différentielle pour mesurer exactement la chute de pression des membranes et ainsi contrôler son degré d'encrassement, un ensemble de pressostats pour l'aspiration des pompes et alarmes en cas de surpression accidentelles, un ensemble de manomètres indicateur pour la vérification des différents circuits de pression et enfin un mesureur de débit électromagnétique pour la sortie de saumure [5].



Figure II.2.2.6: les membranes.

II.2.2.7 - Nettoyage chimique

Par son usage les membranes d'osmose inverse sont obstruées lentement diminuant ainsi le débit produit par les mêmes. L'encrassement peut être dû aux matériaux colloïdaux, aux petites précipitations, etc. Dans le but de maintenir sous contrôle ces encrassements situés aux membranes une partie des propriétés perdues, il est nécessaire les contrôler périodiquement. Le lavage doit être fait obligatoirement dans le cas où la perte de pression des membranes s'accroît de plus de 20% par rapport à la valeur initiale, le passage des sels du module dépasse 30% de la valeur initiale, le débit produit est inférieur à 15% du débit initial. La fréquence des nettoyages dépend de la nature de l'eau. Il est conseillé de laver les membranes une fois toutes les six mois, en moyenne. Ce système a été conçu pour pouvoir laver les tuyaux, d'un châssis complet à chaque fois, pour ainsi diminuer les opérations de nettoyage. Ce système se compose d'un réservoir de 80m³ de capacité où se prépare la solution pour le nettoyage, des résistances pour chauffer la solution si nécessaire, des interrupteurs de niveau, d'un thermomètre et d'un transmetteur de température. Il est équipé aussi d'un système d'agitation constitué à son tour des éjecteurs et des pompes de refoulement avec un débit unitaire de 31m³/h. après la dilution des produits chimiques dans l'eau osmotique à l'aide des pompes de refoulement, l'eau est poussée par les pompes centrifuges à débit unitaire 684m³/h de 60mcl. Le tube d'impulsion est équipé d'un débitmètre. Les mêmes pompes réalisent les opérations de nettoyage chimique et de flushing. La solution pour le nettoyage traverse

deux filtres à cartouche jusqu'aux différents châssis d'osmose inverse. Le circuit de nettoyage chimique travaille à basse pression et est isolé de tous les châssis par des robinets à boisseau à commande manuelle munies des fins de cours. Ils existent 8 unités d'alimentation de la solution de nettoyage chimique pour le châssis de la ligne et 8 autres unités pour le refoulement de la solution. Pour la ligne N°2, ils existent de même 8 vannes d'alimentation et autres 8 pour le refoulement. En outre, pendant les opérations de nettoyage chimique le contact entre les échangeurs de pression et la solution chimique doit être évitée. Pour cela on installe dans le collecteur de rejet un robinet à boisseau à commande manuelle, par châssis, équipé avec des fins de course type.

La sortie de l'eau depuis les châssis d'osmose inverse en provenance du rejet et du permets est refoulée au réservoir de nettoyage chimique. Il est conseillé de rejeter 10% du volume de la solution refoulée car son taux d'encrassement peut avoir augmenté. Le circuit de flushing qui fonctionne à basse pression est isolé de l'aspiration de récupérateurs de pression par une vanne papillon et séparé des pompes haute pression par une vanne papillon [1] [4].

II.2.2.8 -Système de ré minéralisation et conditionnement de l'eau osmotique :

A la fin du processus d'osmose inverse l'eau osmotique est reminéralisée pour diminuer l'agressivité de l'eau et atteindre les valeurs d'alcalinité, dureté, pH, indice de lange lié et MTD garanties. L'eau osmotique de chaque ligne d'osmose inverse est conduite vers le ré minéralisation à travers de collecteurs indépendant. Chaque collecteur transporte le débit de chaque ligne de production, soit : $100.000\text{m}^3/\text{jours}$. L'eau est stockée dans un réservoir de 6 m de hauteur, à un chaque cota suffisant pour permettre le passage de l'eau osmotique à travers les lits à calcite par l'effet de la gravité et atteindre ainsi le réservoir de stockage de l'eau produite. Ce réservoir est divisé en deux de manière que les lignes de production restent dépendantes jusqu'à l'entrée du réservoir d'eau potable. Le système de ré minéralisation est constitué de deux ensembles de lits de calcite (chacun est composé par 30 cellules de 14 m^2 de surface) et d'un processus de dosage de dioxyde de carbone. Dans la tuyauterie de raccordement du réservoir de l'eau osmotique avec le réservoir des couches à calcite se fait un dosage de CO_2 à travers un séparateur installé dans la même tuyauterie de raccordement. L'eau rentre par le bas des cellules et est distribuée au travers des faux fonds des lits de calcite. L'anhydride carbonique dissous dans l'eau, réagit avec le carbonate calcique du lit formant le bicarbonate calcique soluble, avec lequel le pH augmentera. Une fois passée la réaction de ré minéralisation, on aura amélioré la dureté et l'alcalinité de l'eau, et il existera un résiduel de CO_2 en équilibre avec HCO_3 qui déterminera le pH de l'eau traitée [6] [1].

- Dosage de dioxyde de carbone

Le CO_2 sera stocké sous forme liquide, à $T= 20^\circ\text{C}$ et $p=20.5\text{kg}/\text{cm}^2$. Il sera ensuite évaporé jusqu'à sa forme gazeuse pour être enfin, introduit par des injecteurs dans la tuyauterie de sortie de la chambre d'eau osmotique. On dispose de deux réservoirs de stockage de 50.000 kg chacun. Deux panneaux pour le dosage (un par ligne de $100\ 000\text{m}^3/\text{jour}$ d'eau osmotique) sont installés à proximité des points de dosage. Le réglage du dosage en dioxyde de carbone est commandé par un débitmètre massique installé dans le panneau [4].

- Lits de calcite

Le système de ré minéralisation est équipé avec de deux lignes de lits calcite, chacune d'elle compte avec 30 cellules de 14m² de surface unitaire. L'eau rentre par le bas du réservoir et elle est distribuée à travers d'un faux fond de lits. Ensuite, l'eau monte depuis le bas de la couche de filtration à carbonate calcique. Dans sa montée à travers la couche se produit le rééquilibre de composition chimique. L'anhydride carbonique dissous dans l'eau réagit avec le carbonate calcique de la couche formant le bicarbonate calcique. Les réservoirs sont munis d'un silo de stockage dans leur partie supérieure et des goulottes pour guider le produit. Le dosage du produit se fait par effet de la gravité en consommant l'eau peu à peu.

Le dosage se fait donc lentement sans produire des turbulences et en maintenant la hauteur de la couche de calcite et pendant le temps de contact, ce système s'alimente par lui-même à la demande de l'eau. Cependant, même si d'autres facteurs interviennent, la consommation en calcite est reliée continuellement en CO₂. Le silo de stockage de la calcite situé dans la partie supérieure des couches permet de stocker les besoins en carbonate calcique pour plusieurs semaines. La recharge se fait à l'aide d'un pont roulant. L'eau minéralisée qui sort des réservoirs à travers de des creux latérales passe directement par gravitation au réservoir de stockage. Après le procès de ré minéralisation la dureté et l'alcalinité de l'eau se voient augmentées. Le résidu en CO₂ en équilibre avec le HCO₃ déterminera le pH de l'eau traitée. La sortie des couches de calcite est contrôlée par une vanne murale permettant l'entrée ou la sortie de l'eau reminéralisée vers la canalisation de distribution de chaque ligne. Cette canalisation est à son tour raccordée à la canalisation d'entrée de l'eau produite au réservoir par des vannes [4].

II.2.2.9 - Système de recirculation du ré minéralisation

Lors de la charge en calcite de la cuve supérieure de la couche se produit une période naturelle et transitoire de déséquilibre stœchiométrique et de dilution du dosage calcite et le CO₂ contenu dans l'eau à l'entrée de la chambre. Cela a entraîné la mise en place d'un système de recirculation de l'effluent des cellules de calcite vers l'entrée du collecteur de l'eau osmotique avant la ré minéralisation pour reprendre l'eau et la calcite en suspension. Le système est composé par des pompes submersibles et par des collecteurs des cellules et de distribution à la tête de la r é minéralisation. Ce système est commandé par un débitmètre électromagnétique [6].



Figure II.2.2.9: ré minéralisation.

II.2.2.10- Système de lavage de lits de calcite

Le système est composé par des soufflants et par des collecteurs de PRFV qui fournissent l'air à chaque cellule du ré minéralisation. Ce système est isolé par une vanne de papillon et est utilisé pour le dé colmatage les cellules ou pour éliminer les petits contaminants du carbonate calcique [6].

* Dosage de chlore résiduel

Un système de chloration est prévu pour administrer une dose d'hypochlorite résidu empêchant la décontamination de l'eau commercialisable dans le réseau de transport d'eau externe. La dose maximale prévue de conception est de 1.5 ppm. A même du réservoir cylindrique verticale construit en polyester en forcé avec fibre de verre, avec une capacité de 20 000 L. pour la charge du réservoir depuis le camion-citerne est installée une pompe de transvasement de 25 m³/h. L'autonomie de stockage pour la dose moyenne est de 25 jours. On dosera moyennant trios pompes de dosage (une en réserve) de débit unitaire 60 L/h et pourvue de démarreur de manière à ce que le dosage soit proportionnelle au débit de l'eau. Le point de dosage sera à l'entrée dans le réservoir d'eau produite [6].

Stockage et impulsion de l'eau produit

Le système de stockage et impulsion de l'eau commercialisable a pour objet de pomper l'eau produite vers le réseau de distribution a travers le réseau de transport d'eau externe géré par l'Algérienne des eaux. Les systèmes d'impulsion et stockage d'eau produite est composé par un réservoir d'eau reminéralisée, un système de pompage d'eau reminéralisée et un regard de livraison [1].

Le réservoir d'eau reminéralisée a une capacité de 4 000 m³ et il fabriqué en béton armé. Le réservoir est muni avec des capteurs de niveau, des interrupteurs de niveau et des transmetteurs de pH. L'eau commercialisable est pompée vers le réseau de distribution par des pompes assurent 1 150m³/h à 51 M.C.E par pompe. Dans le pompage sont installés un débitmètre des transmetteurs de pH, un analyseur de chlore, un transmetteur de conductivité et un turbidimètre [1].

Réseau de transport de l'eau d'externe

Le réseau de transport d'eau externe conduits l'eau commercialisable impulsée par le système de pompage d'eau produite de l'usine de dessalement Mostaganem. Il est composé d'une conduite de refoulement en fonte de DIN de 1400,693 m de longueur et d'un réservoir intermédiaire de 2000m³ de capacité [1]

CHAPITRE III

CONTROLE DE QUALITE

III.1-Analyse physico-chimique

Le contrôle de qualité de l'eau de douce obtenue par dessalement de l'eau de mer de la station de Mostaganem se fait dans un laboratoire de l'unité ou sont effectués des analyses physico-chimiques et bactériologiques.

Analyse physico-chimique

III.1.1-Mesure de la température :

Pour des raisons de qualité organoleptique, l'objectif à poursuivre consiste à maintenir l'eau potable à une température égale ou inférieure à 15°C- 20°C.

III.1.2-Mesure du pH :

Le pH permet de mesurer l'acidité d'une solution. Il est mesuré avec un pH-mètre.

La mesure de la température se fait avec combiné donnant la température et le pH mètre (Figure III-1).



Figure III.1.2: l'appareil de mesure la température et le pH mètre.

III.1.3-Mesure la turbidité :

La turbidité est due à la présence dans l'eau de particules en suspension minérales ou organiques, vivantes ou détritiques. Ainsi, plus une eau est chargée en biomasse phytoplancton que ou en particules sédimentaires, plus elle est turbide.

Les conséquences de la turbidité concernent la pénétration de la lumière et des ultra- violets dans l'eau, et donc la photosynthèse et le développement des bactéries. Par ailleurs, la couleur de l'eau affecte aussi sa température et donc sa teneur en oxygène, son évaporation et sa salinité.

- Une eau claire à une turbidité inférieure à 5 NTU, au-delà de 50 NTU l'eau est trouble.



Figure III.1.3: l'appareille de mesure la turbidité.

III.1.4- Mesure de la conductivité :

La conductivité est définie comme l'habilité d'une substance à conduire le courant (présence d'ions).

Conductivité typique des eaux

Eau ultra-pure $5.5 \cdot 10^{-6}$ S/m

Eau potable 0.005 – 0.05 S/m Eau de mer 5 S/m



Figure III.1.4: Appareil de mesure de la conductivité.

III.1.5- Détermination de la dureté de l'eau :

C'est en fait la détermination de la concentration des ions Ca_2^+ de l'eau Mode opératoire

- On introduit dans un erlenmeyer 100 mL d'eau à analyser, on y ajoute 8 mL de la solution tampon (PH=10), puis quelques gouttes de l'indicateur coloré .Enfin on titre cette solution avec l'EDTA de concentration 0,02N.

L'équivalence a lieu lors du virage de la couleur de la solution du rose au bleu. La concentration en Ca_2^+ est déterminée par :

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

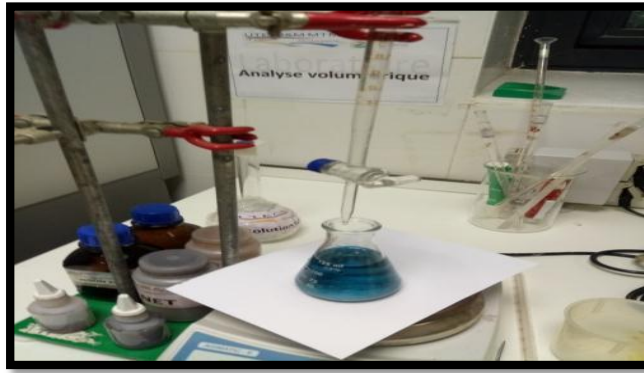


Figure III.1.5: le titrage (la dureté de l'eau).

III.1.6- Détermination du titre d'alcalinité TA :

L'alcalinité de l'eau correspond à la présence de bases. Mode opératoire :

Dans un erlenmeyer on introduit 50 mL d'échantillon d'eau à analyser, quelques gouttes d'indicateur coloré phénophtaléine puis l'indicateur mixte. On titre le mélange avec de l'acide sulfurique 0,01 N.



Figure III.1.6: Etalonnage.

Des analyses de laboratoires ont été effectuées au laboratoire d'analyse de la station dont les résultats sont traduits par le tableau ci-dessous.

| | Résultat du fournisseur | Contrôle au laboratoire 1 ^{er} jour | Contrôle au laboratoire 2 ^{ème} jour | Contrôle au laboratoire 3 ^{er} jour | Contrôle au laboratoire 4 ^{ème} jour |
|---|-------------------------|--|---|--|---|
| Température (°C) | 18 | 18.2 | 17.9 | 18.3 | 18.2 |
| pH | 8,38 | 8.39 | 8.40 | 8.38 | 8.39 |
| la conductivité (µs/cm) | 632 | 625 | 630 | 636 | 632 |
| Concentration en Ca ⁺² (PPM) | 0,21 | 0.22 | 0.20 | 0.21 | 0.20 |
| Turbidité(NTU) | 0,37 | 0.45 | 0.31 | 0.25 | 0.23 |
| Dureté (mg/l) | 66 | 65.5 | 65.5 | 66 | 65 |

Tableau III-1 : Résultats d'analyse d'eau obtenue par dessalement de l'eau de mer.

Les résultats sont satisfaisants conforme aux prescriptions du fournisseur. Lorsque l'eau est transférée, plus la quantité est importante lorsque nous arrivons au fond du réservoir, plus turbidité est élevée. Et le contraire est réciproque.

III.1.7- Mesure de la matière totale dissoute MTD

Mode opératoire :

La détermination du MTD permet d'estimer le taux de salinité d'une eau. Elle consiste à prélever dans un bécher 100ml d'eau à analyser. Cette dernière est placée dans une étuve à 180°C pendant 24 heures.

Le bécher est ensuite mit dans un dessiccateur qui permet de protéger l'eau contre l'humidité, peser le contenu immédiatement

Remarque Il faut peser le bécher vide avant l'expérience.

La masse obtenue est alors la différence entre la masse du bécher remplie d'eau m1 et le bécher vide m₀.



Figure III.1.7-a: Les échantillons à analyser.



Figure III.1.7-b: La cuve qui permet le séchage



Figure III.1.7-c: les Dessiccateurs.



Figure III.1.7-d: Matière totale dissoute.



Figure III.1.7-e: La balance utilisée.

-les méthodes de calcul MTD :

$$\text{MTD} = (m_1 - m_0) * (1000/100).$$

Exemple :

| L'échantillon | m_0 (g) | m_1 (g) |
|---------------|-----------|-----------|
| N | 43,5546 | 47,5411 |
| c | 45,5660 | 49,7706 |

Tableau III.2 : calcul MTD

$$\text{MTDN} = (47.5411 - 43.5546) * (1000/100) = 39.865 \text{ g/l}$$

$$\text{MTDS} = (49.7706 - 45.5660) * (1000/100) = 42.046 \text{ g/l}$$

III.1.8- Mesure de la matière en état stationnaire MES :

La MES permet d'estimer la teneur des matières en suspension d'une eau en utilisant des membranes.

Mode opératoire :

- Poser la membrane sur un verre de montre en utilisant une pince puis la mettre dans une étuve pendant 30min
- Placer la membrane dans un dessiccateur
- Peser la masse m_0 de la membrane
- Filtration
- La remettre dans l'étuve à 105°C pendant 1 heure
- La remettre dans un dessiccateur
- Peser la masse m_1



Figure III.1.8-a: Appareil de filtration.

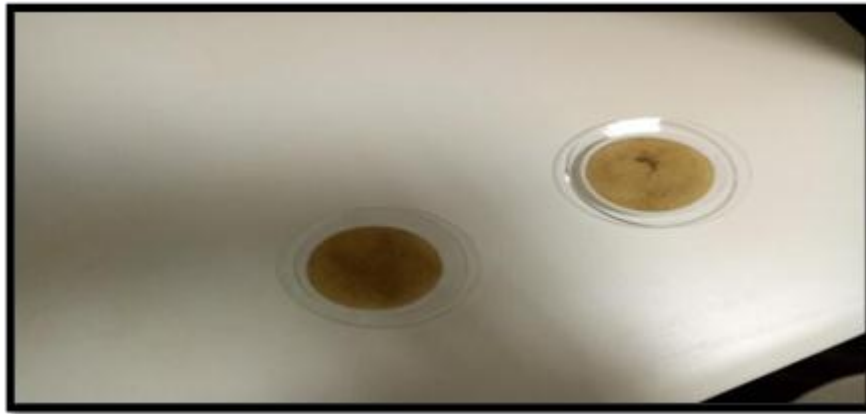


Figure III.1.8-b: Membranes filtrées.

Exemple de calcul MES

La MES : (A partir de 9h36) (Eau de mer)

| L'échantillon | m_0 (g) | m_1 (g) |
|---------------|-----------|-----------|
| N0 | 0.9339 | 0.9602 |
| N1 | 0.8486 | 0.8759 |

Tableau III-3: Valeurs de calcul

La MES est obtenue par la relation suivant

$$MES = (m_1 - m_0) * 1000\%$$

Alors :

$$MESN = (0.9602 - 0.9339) * (1000/100) = 0.263 \text{g/l} \quad MESS = (0.8759 - 0.8486) * (1000/100) = 0.273 \text{g/l}$$

III.1.9- Mesure de la Chlorine :

Elle se fait à l'aide d'un colorimètre ajoutant du DPD totale dans l'eau (elle est de couleur rose).



Figure III.1.9: poudre et l'appareil de colorimètre et DPD.

*Les appareils de mesure après avoir longtemps servi, peuvent donner de faux résultats donc ils doivent être étalonnés pour cela nous procédons de la façon suivante

III.1.9.1-Le PH-mètre :

L'étalonnage se fait par des solutions tampons de pH=4, pH=7, pH=10.

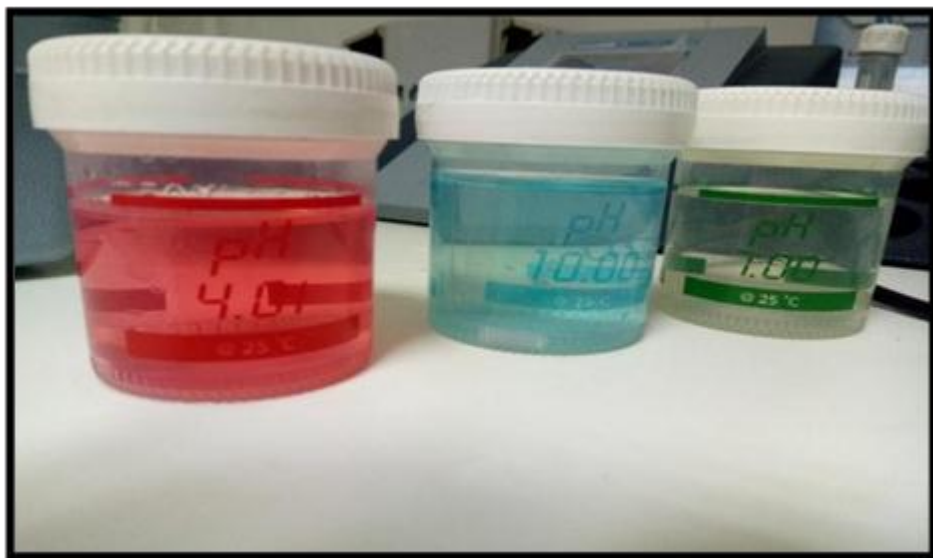


Figure III.1.9.1 : les solutions tampons.

III.1.9.2-Le conductimètre :

L'étalonnage se fait par des solutions de 1413 $\mu\text{s}/\text{cm}$.



Figure III.1.9.2: la solution des étalonnages.

III.1.9.3-Le turbidimètre :

L'étalonnage se fait à l'aide de deux solutions, de l'eau distillé (0NTU) et par la formazine.

La formazine est une solution tampon de 20 NTU pour étalonnage du turbidimètre.

Préparation de la formazine:

On prend 2,5 ml de la solution mère de formazine puis on la met dans une fiole jaugée de 500ml, on y rajoute de l'eau distillé jusqu'au trait de jauge.

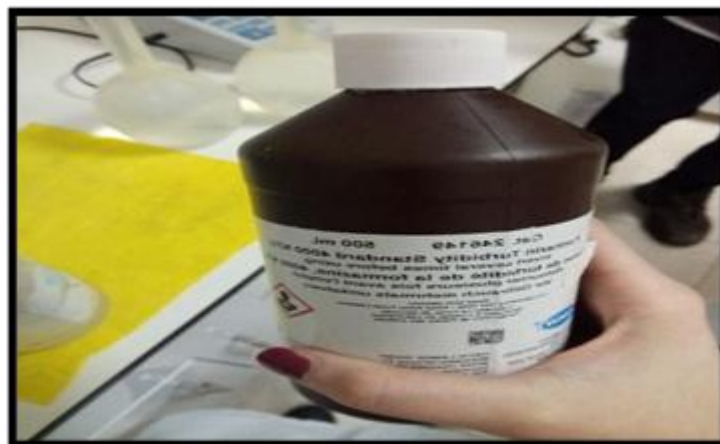


Figure III.1.9.3: la solution mère de formazine.

III-2 Analyse Bactériologique

L'analyse bactériologique de l'eau permet d'identifier le taux de contamination par les bactéries qui la rend impropre à la consommation. L'identification des coliformes fécaux, des entérocoques, et des colonies atypiques suit une méthode scientifique en laboratoire, à partir d'un échantillon de cette eau. Elle s'effectue dans une enceinte dite enceinte d'analyse bactériologique (figure III-18).



Figure III-2: les analyses bactériologie

CHAPITRE III

La Conductivité

III.1-La conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine) de 1cm^2 de surface et séparée l'une de l'autre de 1cm. L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m). La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau (HCEFLCD, 2006).

. III.2-Mesure de la conductivité

A l'aide d'un conductimètre multi-paramètres (HANNA, Hi 991300) à électrode constitué de deux lames carrées de platine de 1cm^2 de côté.

III.2.1-La mesure nécessite :

* Matériels et réactifs

- Un Becher.

- conductimètre

- solution d'étalonnage

* Mode opératoire

Après avoir étalonné le conductimètre ; mettre ensuite environ 100mL d'eau à analyser dans un bécher, dans lequel on plonge l'électrode du conductimètre pour mesurer la conductivité exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

III.3-Les différentes problématiques de conductivité et les solutions proposées

III.3.1- Problématiques de conductivité

la conductivité peu engendré plusieurs problèmes grave qui peuvent nuire au bon fonctionnement du site, une d'eux est la saturation du filtre dans l'osmose inverse et l'augmentation de la température de l'eau ce qui conduit a l'augmentation de la conductivité de l'eau

le danger de la conductivité peut-être très grave du fait qu'il cause le dysfonctionnement de tous l'usine et du réseau de distribution de l'eau

L'augmentation même minime de la conductivité peu engendré une augmentation exponentielle de la corrosion dans les tuyaux et les pompes de l'usine et du réseau de distribution

III.3.2- Les principaux raisons de l'augmentation de la conductivité des eaux

- les Equipment de dessalement de eau (dessaleur) (les membranes, les filtres saturé, les fuites | les injections des produits chimiques : antitartres, anti mousse
- l'augmentation de la température des eaux de mer, ce qui conduit a l'augmentation de la conductivité a cause de la quantité de chaleur que reçoive les ions de chlore, sodium, oxygène

III.3.3- Solution proposé

- la stabilisation de la température et la pression, spécialement dans les pompes
- utilisé la technique de thermo-compression

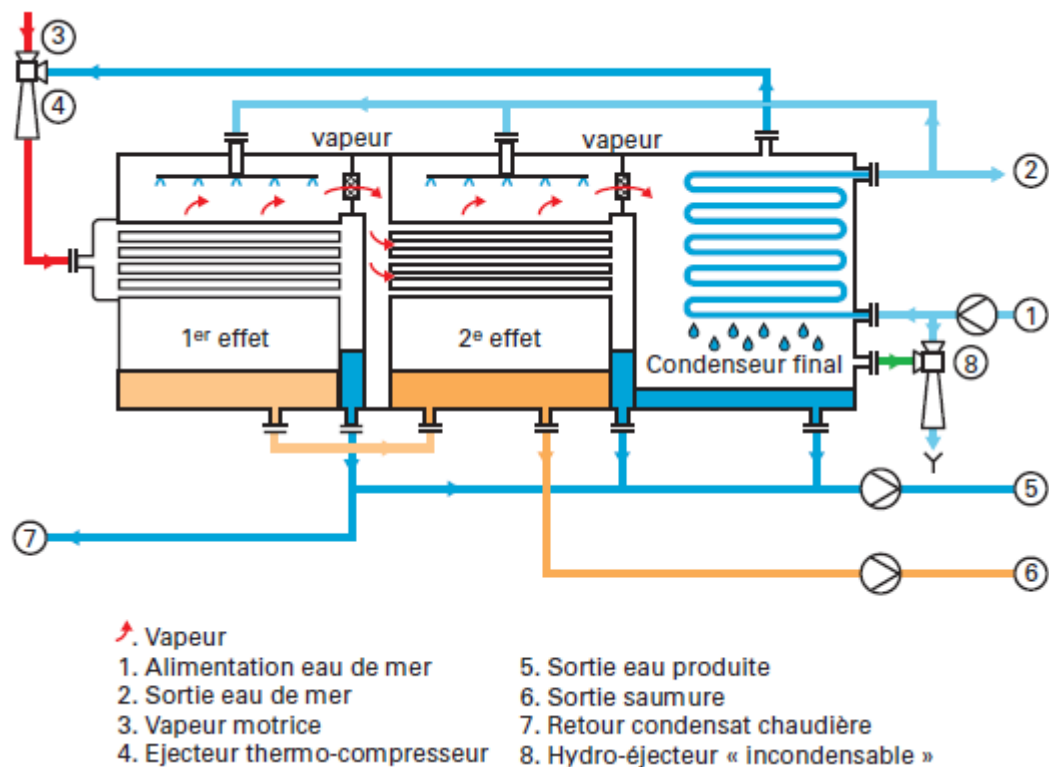


Figure III.3.3 : distillation a multiples-effets avec thermocompression

- une des solutions qu'on utilise la plupart de temps et la diminution des produits chimique -anti mousse- vu que résoudre le problème de moussage est plus facile que de résoudre celui de l'augmentation de la conductivité
- la raison est que le moussage peu affecté les niveaux de l'eau seulement et en sachant que l'eau n'es pas un produit explosif ou bien inflammatoire, on peut sans danger diminuer la quantité insufflé d'anti mousse
- ne pas attendre que le filtre soit complètement usé avant de le changer et sa en comparant entre la pression entrante et sortant

CONCLUSION

Le dessalement est un enjeu spécialement important pour l'avenir des régions confronté aux pénuries d'eau. C'est une méthode d'avenir pour pallier aux problèmes d'eau douce. En ce qui concerne la station de dessalement, les étapes de prétraitement utilisées garantissent le bon entretien de l'équipement de la station, produisant une eau douce de bonne qualité et présente une conformité aux normes OMS

A l'heure actuelle, le dessalement d'eau de mer à travers notre pays se fait par les mêmes procédures que celles de la station de mostaganem. Il serait alors intéressant de souligner les recommandations suivantes :

- * Restituer à l'eau de façon équilibrée les minéraux en phase de reminéralisations. Sachant qu'une eau faiblement minéralisée est plus corrosive pour la tuyauterie.

- * Aussi, recourir à une eau de dessalement pour alimenter une région devra être pris avec la plus grande prudence et après une étude approfondie de l'apport total de minéraux dont bénéficie la population cible. L'idéal serait d'entreprendre des études épidémiologiques occasionnelles, en vue de mesurer les effets que peut avoir sur la santé.

- * les saumures doivent impérativement passer un contrôle exhaustif de toxicité qui tient compte des caractéristiques du système récepteur et prêter une attention particulière à la dilution du concentrât.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

- [1] Maurel. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. Lavoisier Tec&Doc. 2001.
- [2] J. Matricon. Vive l'eau. Découvertes Gallimard. 2000
- [3] P. Danis. Dessalement de l'eau de mer. Techniques de l'Ingénieur, J 2700. Juin 2003.
- [4] Numéro spécial de Science et Vie sur l'eau, N°211, Juin 2000.
- [5] C. Galus, Les techniques de dessalement de l'eau de mer prennent de l'essor, extrait du Monde, 12 Janvier 2000, p.24.
- Usine Nouvelle, Septembre 1999.
- [6] M. Chartier, Les prix du dessalement, Marée d'eau douce, Hydroplus, 121, Mars 2002, p.24 à 39.
- [7] Site de la société Alfa Laval qui commercialise des systèmes de dessalement thermiques
- [8] MANUEL D'exploitation et d'entretien, « Usine de dessalement de Mostaganem »
- [9] : PDF, Dessalement eau de mer, « Dossier thématique-La Cité de la Mer-Technopole Cherbourg-Normandie » (Avril 2012).
- [10] : PDF, l'OSMOSE Inverse, « Le Dessalement de l'Eau de Mer ».
- [11] : BABADJI. Khadîdja ; et MAAMERI. Taouesse, « Mémoire Caractérisation physique- chimique et Bactériologique de l'eau potable produit à l'usine de dessalement de l'eau de mer sonacter Mostaganem ») 2015-2016).
- [12] : PDF, « CONTROLE ET SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX USEES PROTOCOLE DE DETERMINATION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES ») janvier 2007).
- [13] : AMMOUR. Lamia, « Mémoire Station de dessalement Mostaganem »2014 -2015
- [14] ALPHA, S. M., Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par L'EDMSA dans la ville de Bamako, Thèse de doctorat en pharmacie, université de bamako, 2005.
- [15] ATALLAH, A., Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée de la station HONAINE. Mémoire de fin d'étude, Master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 99 pages, 2014.