

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie
Département Hydraulique



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
Filière : Hydraulique
Spécialité : Hydraulique urbaine
Thème

**Influence des paramètres physico – chimiques sur la qualité des
eaux traitées par Osmose inverse**

Présenté Par :

- 1) M . Benameur Alaa eddine Okacha
- 2) M. Mettri Idriss

Devant le jury composé de :

Dr. BAGHLI	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr. BENAICHA	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Dr. NEHARI	M C A UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
Dr. BENCHKOUR	M C B UAT.B.B (Ain Temouchent)	Co-Encadrante

Année Universitaire 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الشكر و التقدير

نحمد الله الذي اعاننا على اتمام هذا العمل المتواضع شكر خاص إلى الاساتذة الكرام المتميزين الذي لم يخلوا علينا بتوجيهاتهم و نصائحهم لإنجاز هذا البحث، فلمن منا

اسمى معاني الشكر و العرفان

شكر و تقدير كبيرين إلى كل عمال محطة تحلية مياه البحر - بني طافه -

فنشكر كل من مد لنا يد المساعدة سواء من قريب أو من بعيد.

Dédicace

*Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui ont été toujours
à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout à long de ces
longues années d'études.*

A ma chère famille

الملخص :

اصبحت المياه في القرن الحادي والعشرين, قضية عالمية مرتبطة ارتباطا وثيقا بتطور الإنسانية والبحث عن مصادر مياه جديدة بات اجباري تواجه الجزائر مثل بلدان أخرى نادرة المياه و قد لجأت إلى تحلية مياه البحر لتلبية احتياجات سكانها. يقدم لنا مشروع التخرج قراءة لعمليات تحلية المياه المختلفة، ويوفر معلومات مستكملة عن طريقة عمل محطة بني صاف لتحلية مياه البحر تهدف الدراسة المقترحة معرفة تأثير الضغط على أداء نظام التناضح العكسي لتحلية المياه (كثافة التدفق ومعدل الاحتفاظ).

Résumé :

Au XXI^e siècle, l'eau est devenue un enjeu mondial étroitement lié au développement de l'humanité et la recherche de nouvelles sources d'eau est devenue obligatoire. L'Algérie, comme d'autres pays, fait face à la pénurie d'eau et a eu recours au dessalement de l'eau de mer pour répondre aux besoins de sa population. Le projet de fin d'études nous apporte une lecture des différents procédés de dessalement, et apporte des informations actualisées sur le fonctionnement de l'usine de dessalement d'eau de mer de Bani Saf. L'étude proposée vise à connaître l'effet de la pression sur les performances du système d'osmose inverse pour le dessalement (densité de flux et taux de rétention.)

Abstract :

In the twenty-first century, water has become a global issue closely linked to the development of humanity and the search for new water sources has become mandatory. Algeria, like other countries, faces water scarcity and has resorted to desalinating sea water to meet the needs of its population. The graduation project provides us with a reading of the various desalination processes, and provides updated information on the way the Bani Saf seawater desalination plant works. The proposed study aims to know the effect of pressure on the performance of the reverse osmosis system for desalination (flow density and retention rate).

Sommaires :

INTRODUCTION :	2
----------------	---

CHAPITRE I

Les différents procédés de dessalement

I.1. LES CARACTERISTIQUES DES EAUX SAUMATRES ET MARINES.....	4
I.1.1 LES EAUX SAUMATRES	4
I.1.2 LES EAUX MARINES	4
I.2. LES PRINCIPAUX TECHNOLOGIES DE DESSALEMENT	5
I.2.1. LES PROCEDES DE DISTILLATION	7
I.2.2.OSMOSE INVERSE.....	13
I.2.3.ELECTRODIALYSE.....	14
I.2.4.L'ECHANGE D'IONS	15
CONCLUSION :	16

Chapitre II

Les Procédés membranaires

II.1.LES MEMBRANES.....	18
II.1.1.DEFINITION.....	18
II.2.LES CARACTERISTIQUES POUR LE CHOIX DES MEMBRANES	20
II.3.TYPES DES MEMBRANES	20
II.3.1.LES MEMBRANES SEMI-PERMEABLES	20
II.3.2.LES MEMBRANES MICROPOREUSES	20
II.4.LES PROCEDES MEMBRANAIRES.....	20
II.4.1.LA MICROFILTRATION.....	20
II.4.2.LA NANO FILTRATION	21
II.4.3.L'ULTRAFILTRATION	21
II.4.4.L'OSMOSE INVERSE.....	22
II.5.NETTOYAGE DES MEMBRANES OI.....	25

II.5.1.RETRO LAVAGE	25
II.5.2.LE NETTOYAGE CHIMIQUE.....	25
CONCLUSION :	26

Chapitre III

La description de la station de dessalement de l'eau de mer de BENI SAF(BWC)

INTRODUCTION :	28
III.1.CADRE CLIMATIQUE	28
III.1.1.TEMPERATURE	29
III.1.2.PLUVIOMETRIE.....	29
III.1.3.VENTS	29
III.2.DESCREPTION DU PROCEDE DE LA STATION	29
III.2.1.CAPTAGE DE L'EAU DE MER	30
III.2.2. PRETRAITEMENT	34
III.4.Caractéristiques des filtres.....	36
III.5.OSMOSE INVERSE.....	37
III.6.MEMBRANES.....	40
III.7.DESCRPTION DU RECUPERATEUR D'ENERGIE.....	40
III.8.POST TRAITEMENT.....	42
III.8.1.REMINERALISATION	42
III.8.2. DESINFECTION FINALE	43
III.9. SYSTEME DE CONTROLE	43
III.10.REFOULEMENT D'EAU AU CLIENT	43
CONCLUSION :	45

Chapitre IV

La partie expérimentale

INTRODUCTION :	47
IV.1. DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT DU PILOTE « ROUC »	47
IV.2.LES PRICIPAUX CARACTERISTIQUES DE L'UNITE ROUC	47

IV.3. PREPARATION DES SOLUTIONS	51
IV.4.DISPOSITIFS DE L'EXPERIENCE	52
IV.5. PROCEDURE GENERALE DU L'ARRET	52
IV.6.MATERIELS UTILISE	53
IV.7 LES CONTRAINTES	54
IV.8.INTERPRETATION DES GRAPHES	56
IV.8.1.LA PREMIERE EXPERIENCE	56
IV.8.2.LA DEUXIEUME EXPERIENCE	57
IV.8.4.LA TROISIEME ET LA QUATRIEME EXPERIENCE	59
IV.8.5.LA CINQIEME EXPERIENCE.....	61
IV.8.6.L'INTERPRETATION FINALE	62
CONCLUSION :	63
CONCLUSION GENERALE :	65
REFERENCES BIBLIOGRAPHIE	67

Liste de figures :

Figure I.1 : schéma de principe de fonctionnement d'un système par détentes successives à 3étages.....	05
Figure I.2 : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED).....	06
Figure I.3 : Schéma de principe d'une unité d'évaporation simple-effet avec compression de vapeur.....	08
Figure I.4 : Évolution de la température d'ébullition de l'eau en fonction de la pression.....	09
Figure I.5 : Système de distillation solaire.....	09
Figure I.6 : Le distillateur solaire a l'énergie solaire.....	10
Figure I.7 : osmose inverse (OI).....	11
Figure I.8 : Schéma d'une unité de dessalement par électrodialyse.....	11
Figure I.9 : colonne échangeur d'ions.....	12
Figure II.1 : Membranes tubulaires.....	15
Figure II.2 : Membranes planes [21].....	16
Figure II.3 : Les membranes composites.....	16
Figure II.4 : microfiltration (MF).....	18
Figure II.5 : nano filtration (NF).....	18
Figure II.6 : l'ultrafiltration.....	19
Figure II.7 :L'osmose Inverse.....	20
Figure II.8 : Unité d'osmose inverse.....	21
Figure III .1 : photo de station de dessalement eau de mer (BWC).....	25
Figure III .2 : Schéma représentant les procédés de dessalement de la station de plage El Hillel.....	27
Figure III.3 : Tuyaux de captage de l'eau de mer pour la station (PEHD).....	28
Figure III.4 : Tuyaux de captage de l'eau de mer pour la station (PEHD).....	28
Figure III.5 : Tuyaux de captage de l'eau de mer pour la station (PEHD).....	29
Figure III .6 : Filtres rotatifs.....	30
Figure III.7 : pompes de pompage et bassin de stockage.....	31
Figure III.8 : zone des filtres à sable et à anthracite de la SDEM de Béni Saf.....	34
Figure III.9 : les filtres à cartouches de la SDEM de Béni Saf.....	34
Figure III.10 : Unité d'osmose inverse	36
Figure III.11 : la zone de production de la SDEM de Béni Saf.....	36
Figure III.12 : les récupérateurs d'énergie (ERI) d'un module d'OI de le SDEM.....	38
Figure III.13 : les composants d'un ERI.....	38
Figure III.14 : Calcite.....	39
Figure III.15 : Bassin de saumure.....	41
Figure IV.1 : l'installation pilote ROUC (laboratoire du génie de l'eau et de.....	46

Figure IV.2: boîtier d'interface de contrôle.....	47
Figure IV.3: contrôler boîte d'interface.....	48
Figure IV.4 : balance électrique (laboratoire de département d'hydraulique).....	50
Figure IV.5 : compteur de sel.....	51
Figure IV.6 : réservoir de refroidissement.....	52
Figure IV.7 : les variations de concentration d'eau permeat en fonction de la concentration d'eau brute, (a) : modélisation linéaire, (b) : polynomiale, (c) : logarithmique, Pour une pression de 13bars et un débit de 25L\min, une concentration de 5g\L.....	54
Figure IV.8 : Les variations de la concentration de l'eau permeat en fonction de la concentration de l'eau brute, (a) : modélisation linéaire, (b) : polynomiale, (c) : logarithmique. Pour une pression de 24bars et un débit de 25L\min, une concentration initiale de 5g\L.....	55
Figure IV.9 : Les variation de concentration de l'eau permeat en fonction de la concentration de l'eau brute,(a):modélisation linéaire,(b):polynomiale,(c):logarithmique Pour une pression de 29bars et un débit de 25L\min, une concentration initiale de 5g\L.....	56
Figure IV.10 : Les variations de concentration de l'eau permeat en fonction de l'eau brute, (a) : modélisation linéaire,(b) :polynomiale,(c) :logarithmique .Pour une pression de 36bars et un débit de 25L\min, une concentration initiale de 5g\L	57
Figure IV.11 : Les variations de concentration de l'eau permeat en fonction de l'eau brute, (a) : modélisation linéaire,(b) :polynomiale,(c) :logarithmique .Pour une pression de 40 bars et un débit de 25L\min, une concentration initiale de 5g\L	59

Introduction Général

INTRODUCTION :

INTRODUCTION :

De nos jours, l'eau représente 71% de l'espace sur la planète, mais 3% de l'océan est douce, seulement 0.7 % est accessible à la consommation humaine. Cette quantité d'eau est estimée suffisante. En effet l'eau est une ressource élémentaire à la vie, elle est indispensable pour l'homme.

Pour répondre à l'insuffisance de la disponibilité des ressources en eau en Algérie, le recours au dessalement de l'eau de mer par des procédés membranaires et précisément l'osmose inverse est la solution qui a été envisagée pendant ces dernières années. Le procédé d'osmose inverse repose sur deux pièces maîtresses représentées par le système ou bien la partie haute pression et les membranes de dessalement. Les membranes d'osmose inverse représentent la partie la plus sensible du procédé c'est pour ça il faut bien choisir ces derniers. Une fois les membranes sont choisies il faut passer à la deuxième étape représentée par la protection des membranes contre le colmatage qui représente une difficulté majeure et qui influence directement sur les performances de la station et sur la capacité d'eau produit désiré. La deuxième pièce maîtresse dans une station de dessalement est la partie haute pression représentée par la pompe haute pression et le système de récupération d'énergie car c'est la grande partie consommatrice d'énergie qu'il faut bien maîtriser dans le stade d'étude et de choix afin d'avoir une pompe qui répond aux critères technique et économique en même temps.

CHAPITRE I
Les différents procédés de
dessalement

I.1. LES CARACTERISTIQUES DES EAUX SAUMATRES ET MARINES

I.1.1 LES EAUX SAUMATRES

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 CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le Na Cl . [1]

I.1.2 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 des océans est de 35 g/l. Les salinités les plus basses se rencontrent au voisinage des pôles ou dans les zones de fort apport d'eau douce. [21]

La quantité de sels dissous augmente au fur et à mesure que l'on se rapproche des tropiques. Elle peut dépasser 45 g/L dans certaines zones, telles que la côte est de l'Arabie Saoudite où la chaleur et les hauts fonds favorisent l'évaporation. Quelques valeurs moyennes de la salinité de l'eau de mer :

Océan Atlantique : 35 g/L

Mer Méditerranée : 38 g/L.

Mer Rouge : 40 g/L.

Golfe Persique : jusqu'à 46 g/L. [21]

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

La température de l'eau de mer peut varier sur les côtes de quelques degrés centigrades sous l'influence des courants polaires jusqu'à 35°C autour de la péninsule arabique. Cette température influence assez peu la distillation, si ce n'est par la limitation du nombre d'effets utilisables en distillation à détente successive, au contraire, elle est très importante pour les systèmes d'osmose inverse : la production des membranes d'osmose augmente d'environ 3 % par degré Celsius. En contrepartie, la qualité de l'eau produite diminue et le vieillissement de

la membrane s'accélère. L'expérience montre que l'optimum se situe autour de 25 °C. On retiendra aussi que la capacité d'une unité d'osmose inverse n'a de sens que si l'on précise la température d'eau pour laquelle cette capacité est atteinte. [21]

I.2. LES PRINCIPAUX TECHNOLOGIES DE DESSALEMENT

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.

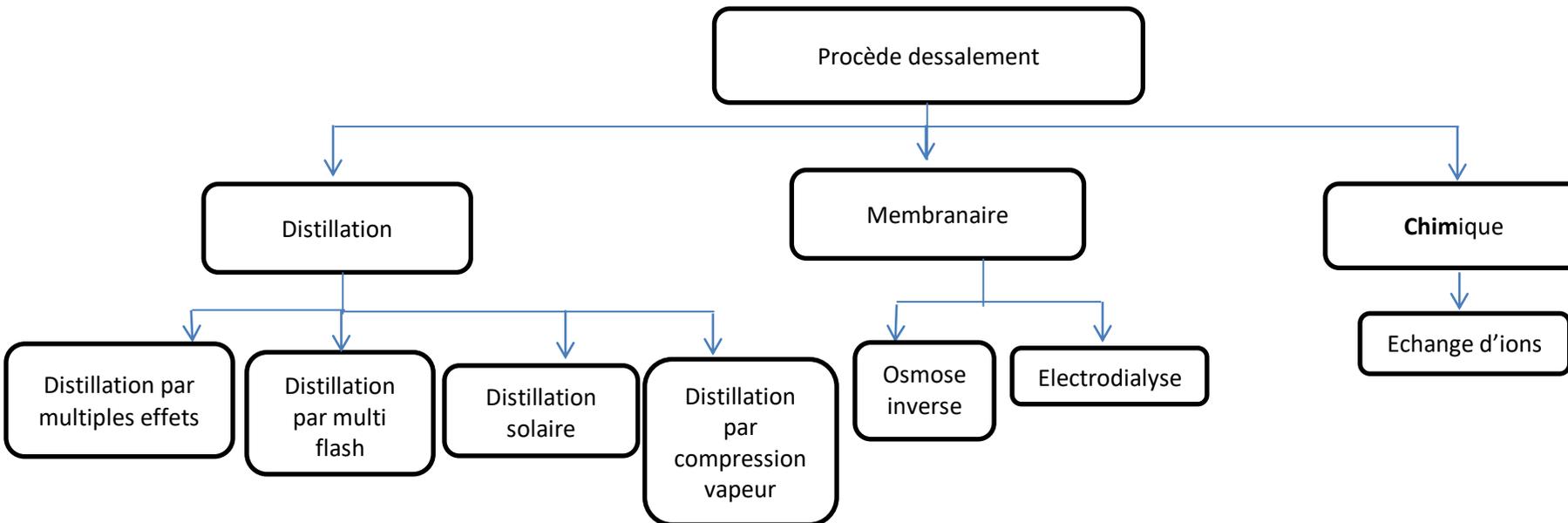
Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau de mer. En effet, ces deux procédés sont les plus commercialisés dans le marché mondial du dessalement. Les autres techniques n'ont pas connu un essor 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.[1]

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 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. [1]

❖ L'ORGANIGRAME REPRESENTA LES PROCÉDES DE DESSALEMENT :



I.2.1. LES PROCÉDES 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. [4]. 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. [4] 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-Effet distillation MED). [4]

a) Le procédé de distillation à détente étagée (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 3) 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. [5]

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. [5]

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. [5] 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.[5] 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. [5]

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. (Figure1). [5]

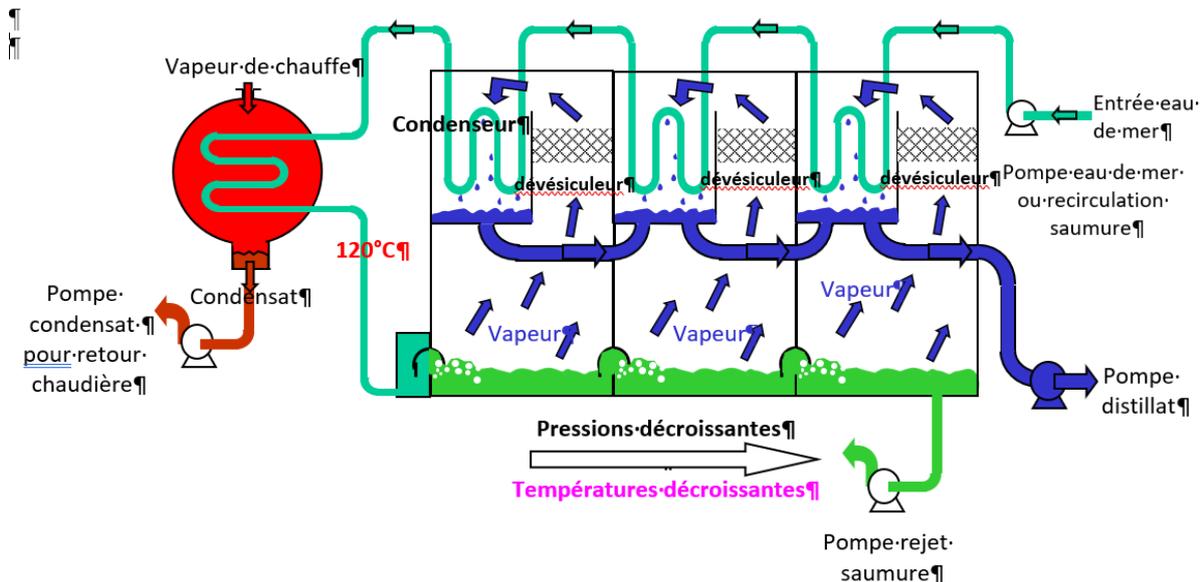


Figure I.1 : schéma de principe de fonctionnement d'un système par détentes successives à 3 étages.

b) Le procédé de distillation à multiples effets (Multi-effet 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 4). 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). [5]

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 cède 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. [6]

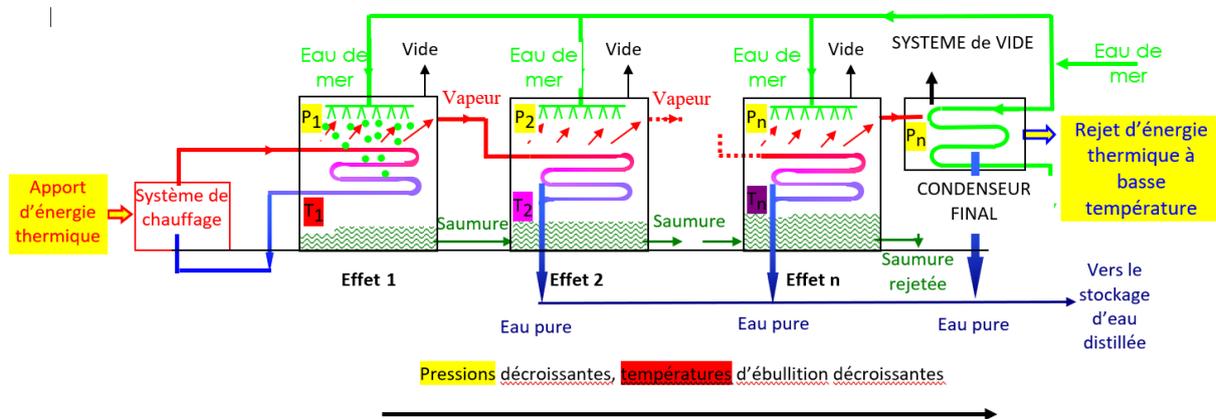


Figure I.2 : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED).

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. [7]

Un système compact à bases de plaques Easy MED 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. [7]

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. [7]

c) le procédé de distillation par compression de vapeur

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. [8]

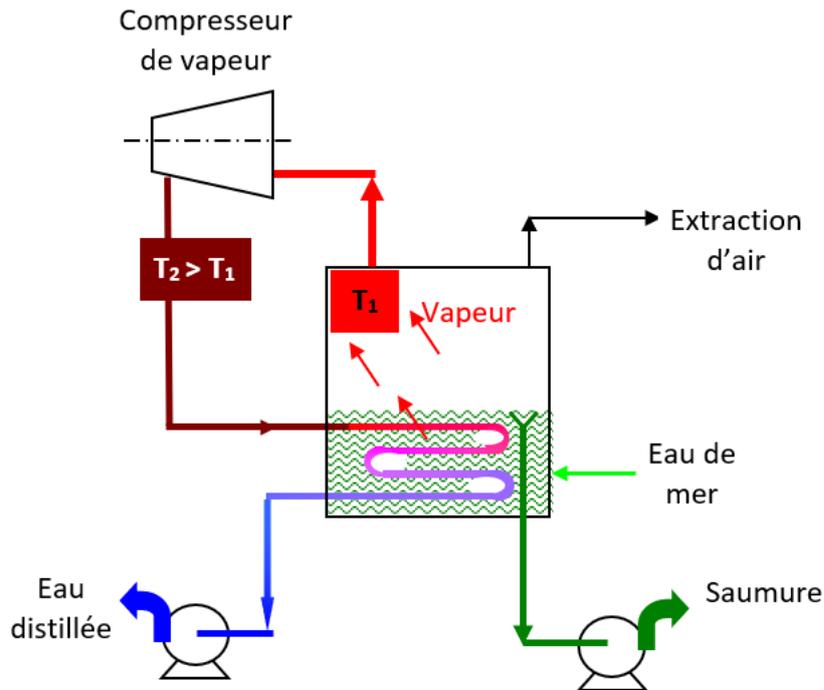


Figure I.3 : Schéma de principe d'une unité d'évaporation simple-effet avec compression de vapeur

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 $70\text{ }^\circ\text{C}$. [8]

A titre d'information, pour comprendre la nécessité de réduire la pression dans les systèmes multiples-effets ou à détente étagées, la figure quatre donne l'évolution de la température d'ébullition de l'eau en fonction de la pression. [8]

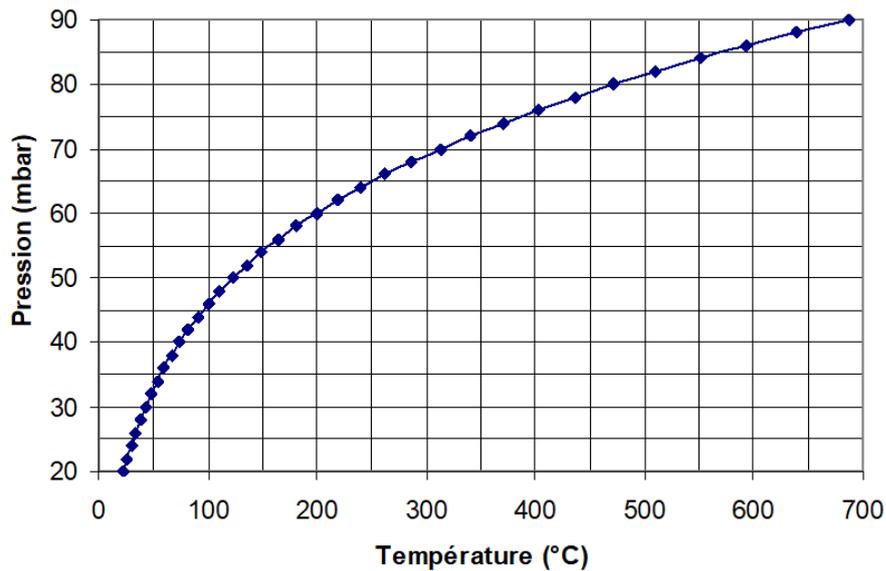


Figure I.4 : Évolution de la température d'ébullition de l'eau en fonction de la pression.

d) La distillation solaire à effet de serre

Ce procédé consiste à chauffer l'eau directement par le rayonnement solaire dans une enceinte fermée recouverte de vitrage. La vapeur produite, qui se condense sur le vitrage plus froid et légèrement incliné, est recueillie sous forme de condensât dans des gouttières. Le principe est très simple, fiable et ne nécessite aucun entretien. Mais son rendement est relativement faible, cinq litres par jour par m^2 [26]

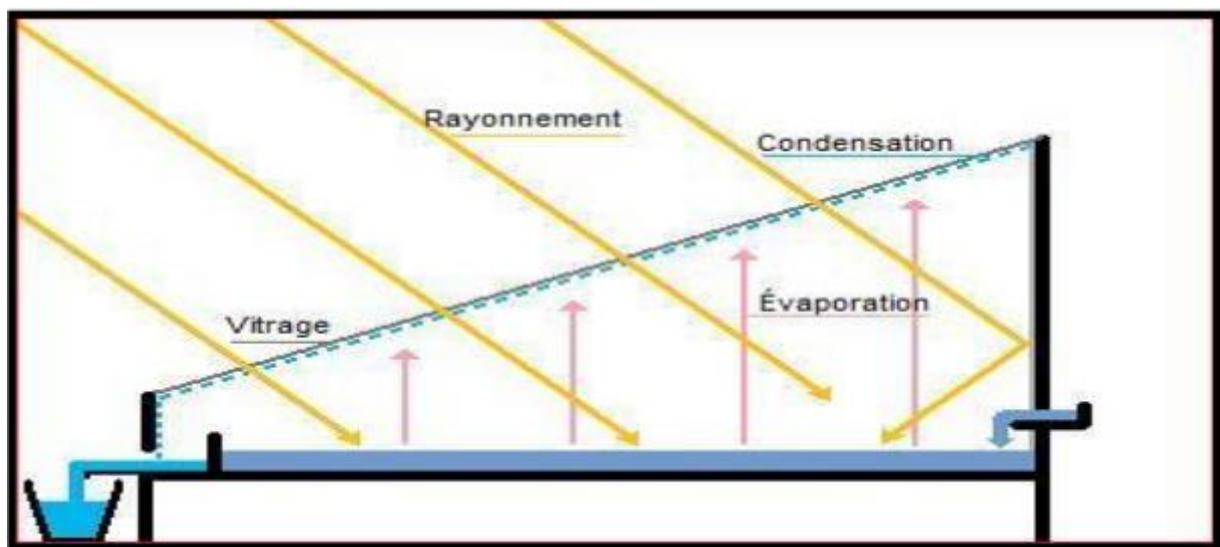


Figure I.5 : Système de distillation solaire

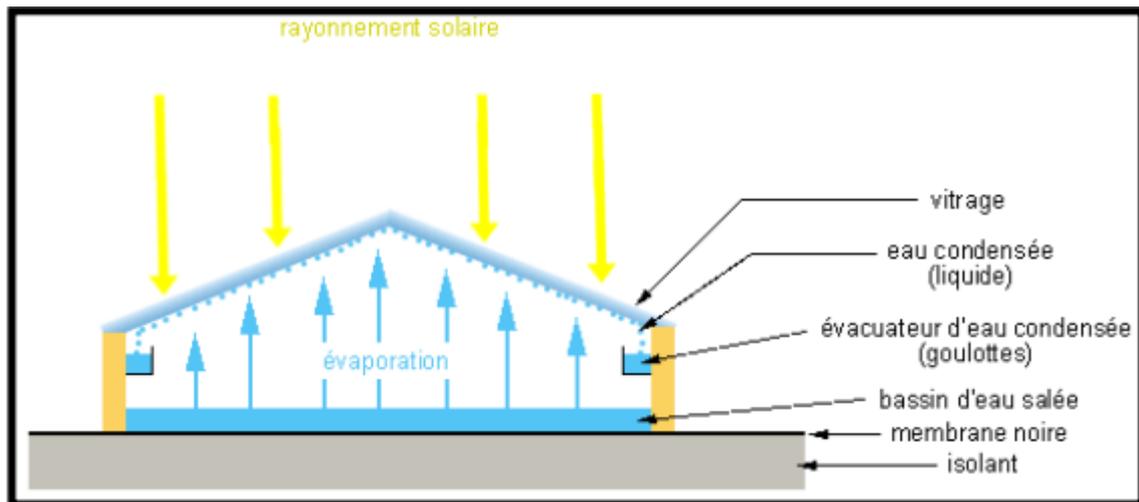


Figure I.6 : Le distillateur solaire a l'énergie solaire

I.2.2.OSMOSE INVERSE

L'osmose inverse a été utilisée dès les années 60 par la NASA (National Aeronautics and Space Administration) pour les vols habités. Simple dans son principe, la désalinisation par osmose inverse nécessite un prétraitement efficace pour éliminer les particules en suspension (filtration par sable, filtration par cartouche), éviter le développement de microorganismes et empêcher la formation de précipités des carbonates. Conçues pour résister à des fortes pressions, les membranes doivent être entretenues par des lavages réguliers pour empêcher des phénomènes de colmatages des pores. Les installations de dessalement par osmose inverse travaillent généralement sous des pressions de 40 à 80 bars selon la salinité de l'eau. La technique a été améliorée par des procédés permettant de récupérer l'énergie du fluide sous pression à l'aide d'une turbine.

Les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse sont donnés par les points suivant:[25]

➤ **Avantage**

Capacité de séparation élevée.

Systèmes modulaires, d'où une grande flexibilité d'utilisation

Recyclage du per méat et du concentré possible.

Températures de fonctionnement faibles

Fonctionnement entièrement automatisé possible

➤ **Inconvénients**

Risque de colmatage, d'obturation et d'encrassement.

Compactage en présence d'agents d'adoucissage.

Pressions élevées requises. Flux de perméat faibles. [3]



Figure I.7 : osmose inverse (OI)

I.2.3.ELECTRODIALYSE

Ce procédé de séparation membranaire consiste à séparer électriquement les molécules de Na Cl contenues dans une eau concentrée, en anions (Cl^-) et en cations (Na^+). Puis à une dialyse par des membranes appropriées séparant l'eau douce et les ions produits. L'électrodialyse est un procédé de dessalement électro-membranaire qui permet d'éliminer des sels dissous d'une eau saline par migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique. [9]

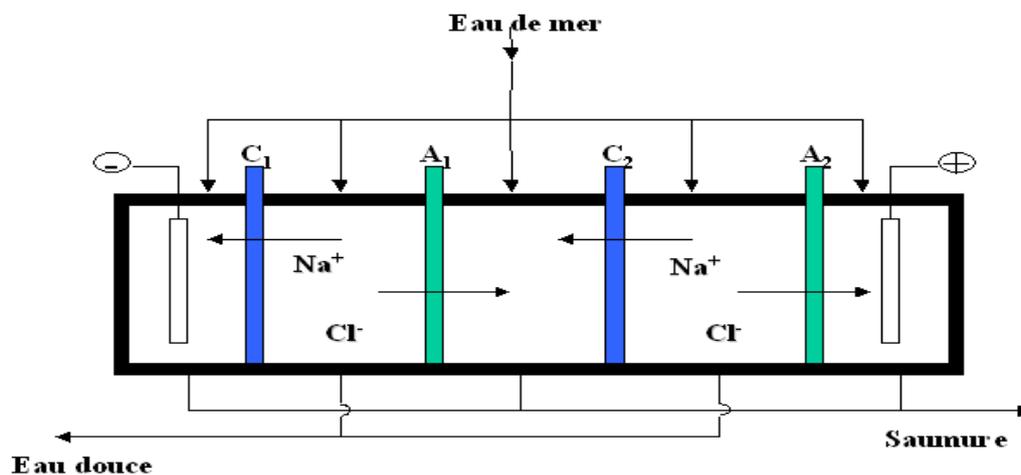


Figure I.8 : Schéma d'une unité de dessalement par électrodialyse

I.2.4.L'ECHANGE D'IONS

Les atomes et molécules électriquement chargés sont des ions. Le traitement connu sous le nom d'échange d'ions emploie des résines spéciales pour éliminer les contaminants minéraux Tels que l'arsenic, le chrome, le calcium, le radium, l'uranium et des anions telles nitrates et les fluorures excédentaires de l'eau. Ce traitement fonctionne au mieux dans une eau débarrassée des particules en suspension qui Peuvent s'agglutiner sur la résine et limiter son efficacité. [28]

Les échangeurs ioniques commerciaux courants sont, aujourd'hui, des résines synthétiques au Sein desquelles des groupes chimiques fonctionnels jouent le rôle d'échangeurs.

La capacité d'échange d'un échangeur ionique est exprimée en milliéquivalent par gramme ou par litre d'échangeur on trouve aussi les unités de CaCo_3 par gramme ou par litre d'échangeur. La capacité totale d'échange n'est en pratique jamais atteinte [29].

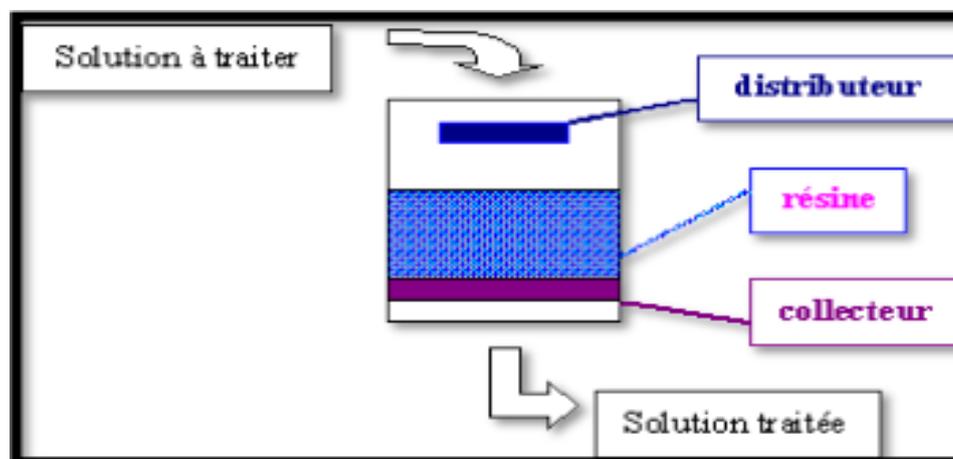


Figure I.9 : colonne échangeur d'ions

CONCLUSION :

Toutes les techniques de dessalement sont très intéressantes au vu de leurs performances et de leur rentabilité, notamment grâce aux innovations techniques des 10 dernières années qui ont déclenché une baisse de coûts de dessalement significative et une augmentation globale de la puissance des usines à dessalement. Rendre potable ces millions de km³ d'eau de mer a toujours été une perspective plaisante pour l'Homme et grâce à toutes ces nouvelles techniques, les procédés sont désormais rendus possible tout en étant rentables. Malgré cela, on redoute maintenant que ces usines à dessalement nuisent trop gravement l'environnement. A nous maintenant d'utiliser le dessalement avec prudence et discernement, mais seulement là où le dessalement est établi comme pouvant répondre à un besoin réel en eau tout en restant rentable et en atténuant les risques pour l'Environnement [11]

Chapitre II
Les Procédés
membranaires

II.1.LES MEMBRANES

II.1.1.DEFINITION

Est une mince paroi permettant une séparation sélective d'espèces chimiques, ioniques, moléculaires ou biologiques : un « nano filtre ». Les pores d'une membrane sont de l'ordre de grandeur du nanomètre et varient de 1 à 100 suivant l'emploi que l'on destine à ces membranes. [12]

Les membranes sont le plus souvent fabriquées en acétate de cellulose ou en polymères de synthèse (polyamides, poly sulfones)

✚ Les membranes tubulaires

En pratique, la désignation de membranes tubulaires est réservée aux plus gros tubes (diamètre intérieur supérieur à 6 mm) [21]

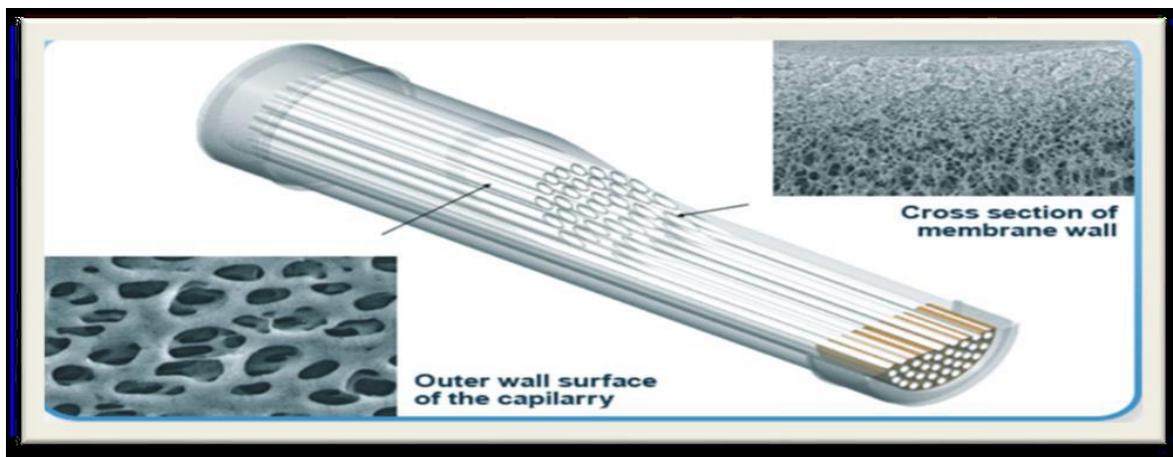


Figure II.1 : Membranes tubulaires

✚ Les membranes planes

Les membranes sous formes de plaques plates sont appelées membranes pillow-shaped. Ce nom provient du fait que lorsque deux membranes sont assemblées dans une unité on obtient une forme d'oreiller à l'intérieur du module. Plusieurs, "Pillot" sont placés avec une certaine distance entre eux, qui dépendent de la quantité du solide dissout dans l'eau. Lorsque le traitement est fait, le perméat est collecté dans l'espace entre les membranes d'où il est emporté par des drains. [21]

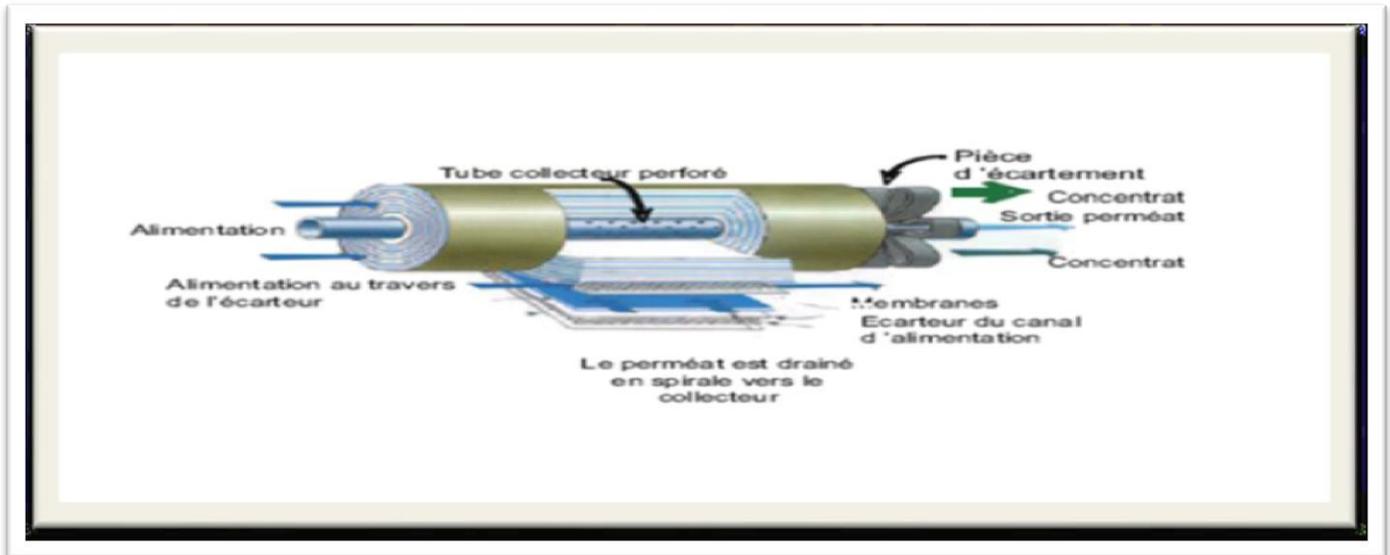


Figure II.2: Membranes planes [21]

✚ Les membranes composites

Sont constituées d'une couche superficielle très mince (0,1 à 0,5 μm d'épaisseur) de très fine porosité et d'une sous-couche plus épaisse de porosité beaucoup plus large. La séparation a lieu dans la couche superficielle tandis que la sous-couche confère une résistance mécanique à la membrane. Les deux couches peuvent être faites de différents matériaux comme c'est le cas pour les membranes composites. [21]

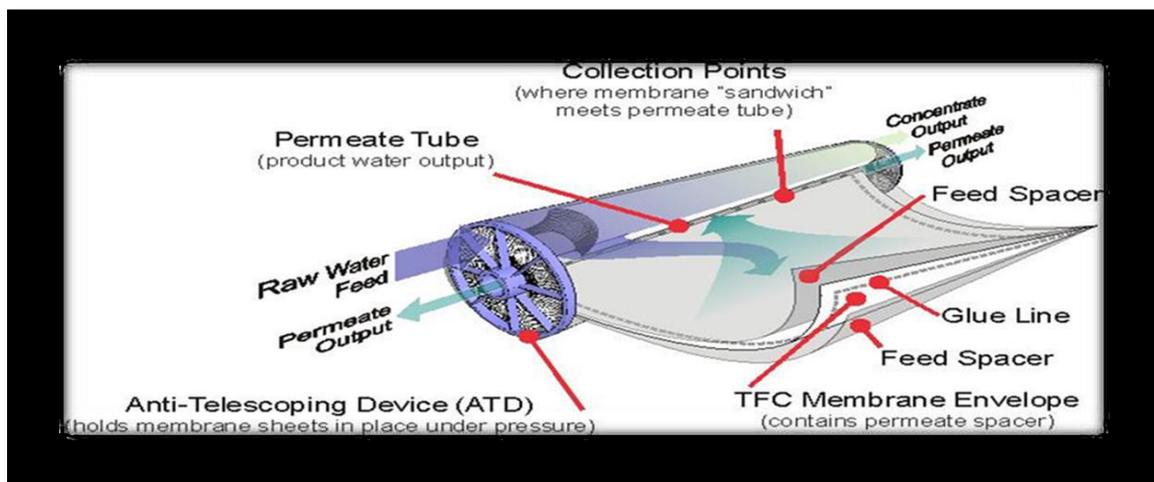


Figure II.3: Les membranes composites

II.2.LES CARACTERISTIQUES POUR LE CHOIX DES MEMBRANES

Les membranes sont caractérisées par :

- ❖ Qualités de stabilité chimique (pH, oxydants, dichorée ...)
- ❖ Stabilité thermique (important facteur pour les utilisations biologiques où il y a stérilisation en autoclave)
- ❖ De stabilité microbiologique :(Dégradation bactérienne pour les membranes en acétate de cellulose)
- ❖ De résistance mécanique [21]

II.3.TYPES DES MEMBRANES**II.3.1.LES MEMBRANES SEMI-PERMEABLES**

Qui sont perméables à l'eau et à certains solutés mais imperméables à la très grande majorité des produits habituellement dissous dans l'eau, en particulier les molécules de la chimie organique. Ce sont les membranes utilisées en osmose inverse. [21]

II.3.2.LES MEMBRANES MICROPOREUSES

Qui agissent comme un tamis ou une passoire. Elles retiennent les particules de taille supérieure à celle de leurs pores. Ces nano membranes sont perforées à l'aide d'un bombardement d'électrons. La taille des trous et les caractéristiques électrostatiques des polymères qui les composent permettent de contrôler la filtration de nombreux polluants. [21]

II.4.LES PROCÉDES MEMBRANAIRES

Un procédé membranaire est un procédé qui permet de séparer des constituants d'un mélange à l'aide d'un matériau synthétique appelé. Il s'agit quatre procédés membranaires :

II.4.1.LA MICROFILTRATION

La microfiltration sur membranes fibres creuses (diamètre Int/ex : 300/600 µm) est la technique la plus utilisée en prétraitement avant l'osmose inverse .Les membranes sont de

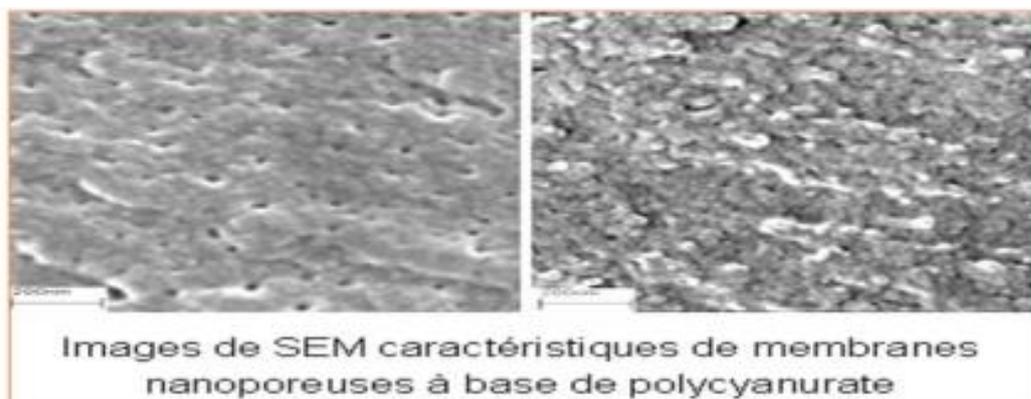
type polymère (polypropylène avec des diamètres de pores compris entre 0,1 et 0,5 μm). Le mode de filtration est en général frontal, de l'extérieur de la fibre vers l'intérieur. Les pressions transmembranaires utilisées sont comprises entre 0,2 et 1,5 bar. Les débits spécifiques de filtration varient de 50 à 150 l/h/m². [22]



Figure II.4: microfiltration (MF)

II.4.2.LA NANO FILTRATION

Cette technique se situe entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration. Elle permet la séparation de composants ayant une taille en solution voisine de celle du nanomètre (soit 10 Å) d'où son nom. Les sels ionisés monovalents et les composés organiques non ionisés de masse molaire inférieure à environ 200 - 250 g/mol ne sont pas retenus par ce type de membrane [23]



Images de SEM caractéristiques de membranes nanoporeuses à base de polycyanurate

Figure II.5 : nano filtration (NF)

II.4.3.L'ULTRAFILTRATION

L'ultrafiltration utilise des membranes microporeuses dont les diamètres de pores sont compris entre 1 et 100 nm. De telles membranes laissent passer les petites molécules (eau, sels) et arrêtent les molécules de masse molaire élevée (polymères, protéines, colloïdes).

Pour cette raison, cette technique est utilisée pour l'élimination de macro-solutés présents dans les effluents ou dans l'eau à usage domestique, industriel (électronique) ou médical [22].

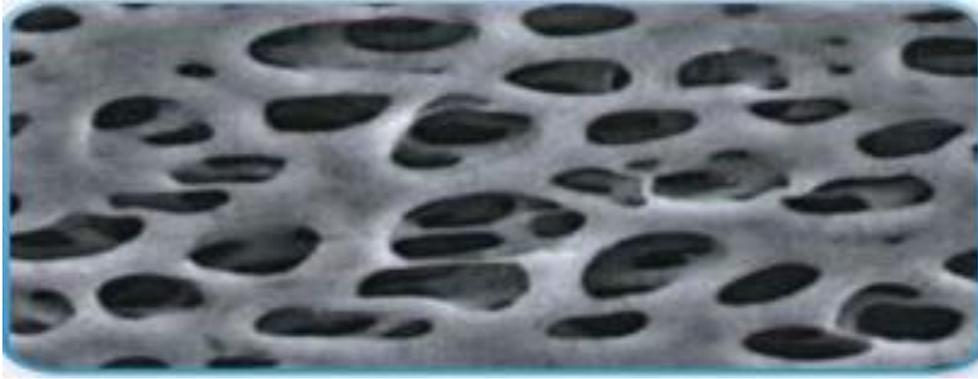


Figure II.6: l'ultrafiltration

II.4.4.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 osmose est de l'ordre de $0,5 \text{ g.L}^{-1}$. [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 sept**) 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 [2].

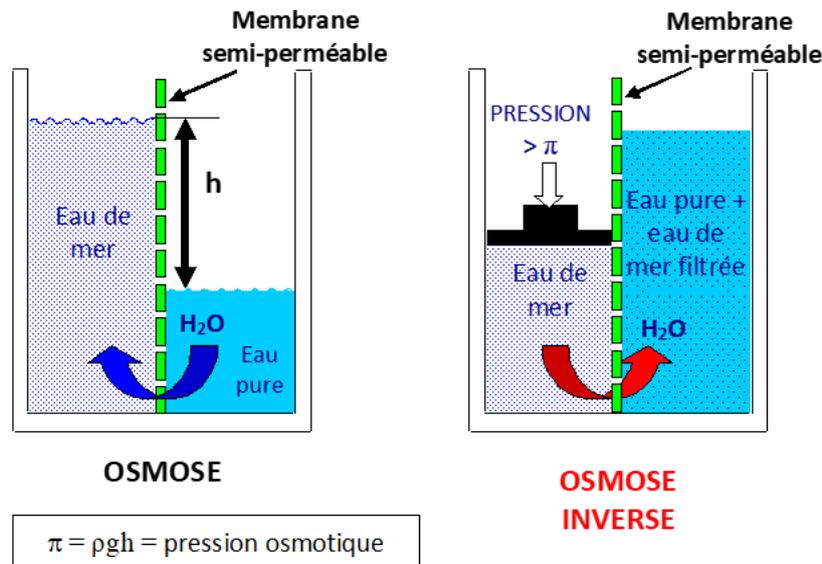


Figure II.7 :L'osmose Inverse

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 la figure sept**), c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse. [2]

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

$\Pi = i \times C \times R \times T$, 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. [2]

Les éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse sont schématisés sur la (**figure 8**). [3]

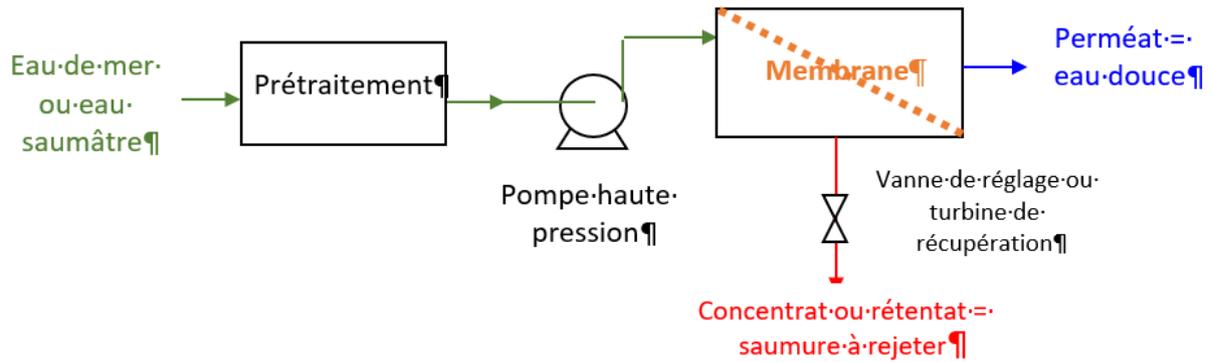


Figure II.8 : Unité d'osmose inverse

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. [3]

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. [3]

La pompe haute pression permet ensuite d'injecter l'eau de mer dans le module d'osmose inverse dans lequel se trouvent les membranes. [3]

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 rétentat tandis que l'eau qui a traversé la membrane est appelée perméat. [3]

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. [3]

II.5.NETTOYAGE DES MEMBRANES OI

II.5.1.RETRO LAVAGE

Pour toutes ces raisons l'entretien de la membrane est très important pour cela nous devons laver la membrane périodiquement avec de l'eau et même avec de l'air en utilisant une compression bien étudiée. [3]

II.5.2.LE NETTOYAGE CHIMIQUE

Un réactif alcalin et complexant associé à un mouillant et des dispersants pour extraire les biofilms et les matières organiques. Une solution d'acides organique et inorganique ainsi que des dispersants nécessaires. [3]

CONCLUSION :

Comme pour les autres technologies de dessalement, (le rejet d'eau) et (la consommation d'énergie) constituent les principaux impacts environnementaux. La nature de l'eau rejetée varie selon l'étape de traitement correspondant à sa provenance. Ainsi, l'eau rejetée suite au prétraitement lors du nettoyage des unités de filtration a une haute teneur de matières en suspension biologique, organique et minérale tandis que l'eau de rinçage du procédé a une salinité et une acidité plus grande et que l'eau provenant du nettoyage des membranes est alcaline ou acide avec une grande charge de matières en suspension. C'est sans compter les rejets d'eaux saumâtres suite au dessalement qui ont elles aussi une très grande salinité comparée au milieu récepteur. De plus, les usines d'osmose inverse utilisent (des pompes à haute pression et des turbines) qui sont bruyantes et qui contribuent à la pollution sonore. D'un autre point de vue, (les membranes de filtration ont une durée de vie limitée) et il faut prendre en considération que celles-ci deviennent des déchets à la fin de leur vie utile.

Chapitre III
La description de la station de
dessalement de l'eau de mer de
BENI SAF(BWC)

INTRODUCTION :

A l'ouest du pays, les incertitudes de la météo s'ajoutent à la pression démographique et aux perturbations prévisibles liées au réchauffement climatique pour peser sur la disponibilité de l'eau. Devant cette situation de fait, la volonté de l'état s'est appuyée sur les ressources de la science en faisant appel à la technologie du dessalement de l'eau de mer, qui se profile aujourd'hui comme une alternative crédible. Le gouvernement a lancé un chapelet de projets de dessalement d'eau de mer intégrant des usines de différentes capacités tout au long des côtes algériennes, au Nord-Ouest Algérien, la Wilaya d'Ain-Temouchent a fait l'objet de l'installation d'une station de dessalement d'eau de mer d'une capacité de production de 200.000.m³/j, assurant l'approvisionnement en eau potable des Wilayas d'Ain-Temouchent et d'Oran.



Figure III .1 : photo de station de dessalement eau de mer (BWC)

III.1.CADRE CLIMATIQUE

Le climat de la région de la plage El Hillel est de type méditerranéen, il se caractérise par des saisons estivales chaudes et sèches et des saisons hivernales froides et pluvieuses. [14]

III.1.1.TEMPERATURE

La température des eaux marines en surface n'est pas constante, elle est étroitement liée à celle de l'atmosphère et, par conséquent, varie en fonction des saisons. En méditerranée, les eaux se caractérisent par des écarts de température entre les couches superficielles et les couches profondes relativement peu important ; sur le littoral algérien l'eau de surface subit tout du long de l'année des variations thermométrique considérables.

III.1.2.PLUVIOMETRIE

L'étude des précipitations demeure l'un des facteurs primordiaux dans l'action de l'érosion hydrique. La région d'étude jouit d'un climat méditerranéen appartenant à l'étage aride à semi-aride, Elle reçoit une pluviométrie de 300 mm/an, la pluviométrie est comprise entre 60-116mm en saison hivernale et entre 8 à 62 mm la saison estivale. [16]

III.1.3.VENTS

Le site de plage el Hilal se distingue par 2 périodes de vents dominantes : $\frac{3}{4}$ Le secteur Est à Nord-Est est caractérisé par des vents très fréquents et forts le 2^{ème} et 3^{ème} trimestre de l'année avec des périodes de pointe pendant le 3^{ème} trimestre. $\frac{3}{4}$ Le secteur Ouest à Sud-Ouest est caractérisé par des vents fréquents et forts pendant le 1^{er}, 2^{ème} et le 4^{ème} trimestre de l'année. [16]

III.2.DESCREPTION DU PROCEDE DE LA STATION

Le procédé utilisé pour le dessalement d'eau de mer à la station de la plage El Hillel est l'osmose inverse. Comme tous les procédés d'osmose inverse, celui-ci comporte quatre étapes principales :

- Captage de l'eau de mer
- Prétraitement
- Osmose inverse
- Post-traitement [17]

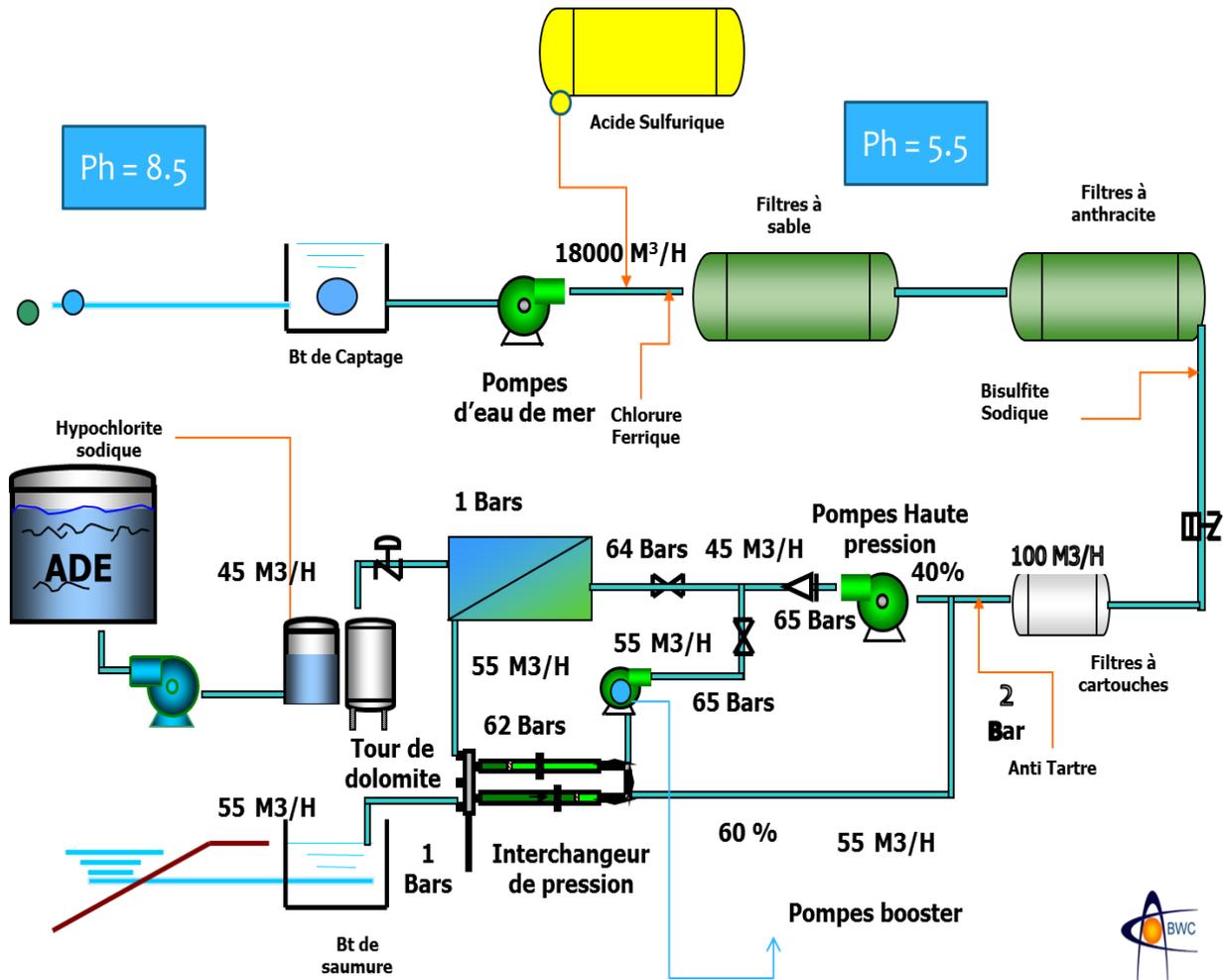


Figure III.2 : Schéma représentant les procédés de dessalement de la station de plage El Hillel

III.2.1.CAPTAGE DE L'EAU DE MER

La première étape du procédé de dessalement est le captage de l'eau de mer. Elle consiste à pomper l'eau de mer vers la station de dessalement. Cette eau doit être bonne du point de vue matières en suspension pour le fonctionnement de la station. L'eau de mer est captée à partir de 1 km en pleine mer, elle se fait par un émissaire en PEHD d'un diamètre de 2400 mm, à l'extrémité de l'émissaire, une tour de 10 m de hauteur est érigée sur un fond de (-18 m) éloigné de la côte pour éviter les pollutions et capter une eau plus ou moins propre. L'eau est véhiculée à l'intérieur de la conduite par gravité avec une vitesse d'écoulement inférieur à 1m/l'émissaire de rejet de saumure est installé en parallèle, il est situé à une profondeur de 8 m et a un diamètre de 1800 mm (1.8 m) et d'une longueur de 500m [17]



Figure III.3 : Tuyaux de captage de l'eau de mer pour la station (PEHD)



Figure III.4 : Tuyaux de captage de l'eau de mer pour la station (PEHD)



Figure III.5 : Tuyaux de captage de l'eau de mer pour la station (PEHD)

a) Filtration mécanique

Cette étape du traitement consiste à faire passer l'eau à travers deux gros dégrilleurs pour empêcher le passage des grandes particules contenues dans l'eau de mer tels que les poissons, les débris et les algues...etc., et deux filtres rotatifs(fig. 12) dont les mailles sont plus fines que celles du dégrilleurs (400 microns) permet le retrait des petites particules comme le sable. Cette filtration d'eau permet d'assurer une entrée en eau moins chargée en débris marine et homogène. [17]



Figure III .6 : Filtres rotatifs

b) station de pompage

La station de pompage d'eau de mer située dans la zone de captage représente l'épine dorsale de la SDEM. Elle est composée de :

- 11 pompes centrifuges horizontales (Sulzer), (**figure sept**)
- 10 pompes en marche, 01 pompe en stand-by
- 01 système d'amorçage des pompes à vide composé de 02 compresseurs d'air
- Le système d'amortisseurs de chocs hydrauliques (anti-bélier) composé de 2 Réservoirs identiques. [13]



Figure III.7 : pompes de pompage et bassin de stockage

III.2.2. PRETRAITEMENT

Avant de faire passer l'eau de mer dans les modules d'osmose inverse, elle passe par des unités prétraitement :

a) Prétraitement chimique

Les dosages chimiques ont pour fonctions :

- Conditionner l'eau de mer en vue du dessalement par osmose inverse.
- Conditionner l'eau dessalée produite pour la rendre potable.
- Neutraliser les effluents de lavage des membranes. [13]

Le système de dosage chimique est constitué des sous-systèmes suivants : [13]

Sous-système de dosage d'hypochlorite de Sodium dans l'eau de mer : installé dans le bâtiment de captage, il aide à éliminer les matières organiques.

Sous-système de dosage d'hypochlorite de Sodium dans l'eau produite : situé à côté du réservoir d'eau dessalée, il a pour principale fonction la stérilisation de l'eau produite

Sous-système de dosage d'acide sulfurique dans l'eau de mer : traitement effectué en amont des filtres à sable pour :

- Fixer le pH et éviter la précipitation de carbonates et de bicarbonates sur les membranes
- Dégager suffisamment de CO₂ pour reminéraliser l'eau produite dans les tours de calcites.

Sous-système de dosage du chlorure ferrique dans l'eau de mer : traitement effectué avant les filtres à sable pour la coagulation des colloïdes et des matières en suspension, afin que ces substances soient retenues lors du filtrage. [13]

Sous-système de dosage de bisulfite de sodium dans l'eau de mer : traitement effectué après les filtres à cartouche, afin d'éliminer le chlore résiduel et de prévenir l'oxydation des membranes.[13]

Sous-système de dosage des anti-incrustants : Traitement effectué avant les filtres cartouches pour éviter les incrustations sur les membranes.

Sous-système de dosage d'acide sulfurique pour neutralisation : sa fonction principale est de neutraliser les effluents de lavage des membranes.

Sous-systèmes de dosage de Sodium pour neutralisation : Sa fonction principale est de neutraliser les effluents de lavage des membranes. [13]

b) Prétraitement physique

La filtration sur sable

Le filtrage à sable consiste à retenir les solides en suspension présents dans l'eau de mer et les floes formés à l'étape de coagulation. Le système de filtrage (figure 14) est constitué de deux trains de filtrage identiques, ayant chacun la capacité de filtrer 50% de l'eau nécessaire. Chaque train de filtrage est constitué de 24 filtres regroupés en 12 modules ou paires de filtres. Chaque module est constitué de 2 filtres identiques fonctionnant comme une unité filtrante, avec collecteurs et vannes communes. Le filtrage est un processus suffisamment connu, au cours duquel l'eau traverse un milieu filtrant poreux, qui retient mécaniquement les solides en suspension. Dans ce cas, le milieu filtrant utilisé est le sable de silice de deux grosseurs (bicouche). [13] Une couche de sable grossier (couche support) est située en bas des filtres et une couche de sable plus fin (couche filtrante) la recouvre et retient les particules les plus fines. [13] En amont des filtres à sable (système de captage et pompage), on trouve un mélangeur statique prévu pour faciliter le mélange de l'eau et des produits chimiques dosés au préalable et favoriser la floculation des MES. Le pupitre de

l'analyseur de turbidité de chaque train comprend un dispositif de prélèvement d'échantillon destiné à mesurer le taux de matières SDI. Cette mesure est importante pour le contrôle de la qualité de l'eau qui passe à l'étape suivante. Il s'agit d'un bon indicateur du fonctionnement du filtre. [13] A l'entrée et à la sortie de chaque train de filtrage, est monté un manomètre destiné à vérifier les variations de pression entre les collecteurs d'entrée et de sortie, appartenant au système de captage et de pompage [17]

Filtrage à anthracite

Le système de filtrage à anthracite (**figure 8**) a pour fonction de retenir les agents résiduels et cancérigènes, la matière organique et, en général, les composés causant des problèmes de mauvaises odeurs et de mauvais goût dans l'eau. L'eau est ainsi prête à passer par les filtres à cartouches, d'où elle est envoyée aux appareils d'OI.

Filtration par cartouches

Le système de filtration par cartouches est conçu pour retenir les particules de plus petite taille (jusqu'à 5 microns absolus) qui n'ont pas été retenues par les filtres à sable et à anthracite et qui pourraient endommager les installations des modules d'OI. [13]

Le débit d'eau filtré qui alimente le système de filtration à cartouches est le débit traité par le système de filtration à sable et anthracite, est de 17 996 m³/h. [17]

A l'intérieur de ces filtres est placée une plaque-support soutient des cartouches, chaque filtre contient 380 cartouche. Les cartouches sont de couleur blanche avant d'être utilisé, mais après l'utilisation elles prennent la couleur noir à cause de la salinité de l'eau de mer (35g/l). [17]

20 filtres verticaux à cartouche sont installés en parallèle, de façon à ce que le débit d'eau soit réparti entre tous les filtres pendant le processus normal de fonctionnement. Les filtres sont disposés dans deux lignes, chacune comprenant 10 filtres [17]

III.4.Caractéristiques des filtres

48 filtres à pression horizontale et à fond bombé sont installés en parallèle, afin que le volume d'eau soit uniformément réparti entre tous ces filtres en fonctionnement normal.

Les filtres sont disposés en deux trains, constitué chacun de 12 modules de 2 filtres. Au niveau fonctionnel, un module constitue l'unité minimale de filtrage.

Le collecteur supérieur est celui d'entré d'eau de mer et le collecteur inférieur, celui de sortie de l'eau filtrée. L'eau tombe sur le lit sableux, est filtrée puis passe à la cavité inférieure. [13]



Figure III.8 : zone des filtres à sable et à anthracite de la SDEM de Béni Saf



Figure III.9 : les filtres à cartouches de la SDEM de Béni Saf

III.5.OSMOSE INVERSE

Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse est réalisé par le passage des fines membranes filtrantes spécifiques ce sont des membranes semi perméables à l'eau. Leurs pores

sont minuscules, seules les molécules d'eau traversent la membrane et les sels dissous ne passent pas et encore moins les impuretés contenues dans l'eau. [17]

Le système d'osmose inverse est composé de :

- 10 unités de production de 20 000 m³ /j chacune ;
- 256 tubes à pression par unité ;
- 1792 membranes dans chaque unité, soit 7 membranes dans chaque tube à pression

01 pompe centrifuge de haute pression par unité ;

- 01 pompe de recirculation par unité ;
- 22 récupérateurs d'énergie par unité.

Ce système a pour fonctions :

- Dessaler l'eau de mer pour produire de l'eau potable
- Evacuer la saumure de rejet à pression au système de récupération d'énergie. [13]

Le processus de dessalement s'effectue par le passage de l'eau de mer d'alimentation à travers des modules de membranes semi-perméables disposés en série à l'intérieur de chaque tuyau de pression et en parallèle dans chaque module. Pour que le courant d'entrée au châssis d'osmose inverse traverse la membrane, il est nécessaire que la pression exercée sur celle-ci soit supérieure à sa pression osmotique. De cette manière, à partir du courant d'eau de mer qui a une plus grande concentration saline, il se produit un courant d'eau produit ayant une concentration plus faible, le per méat, et un autre courant de rejet, la saumure, avec une teneur en sels bien supérieure à celle que possédait initialement le courant d'eau d'alimentation.[13]



Figure III.10 : Unité d'osmose inverse



Figure III.11 : la zone de production de la SDEM de Béni Saf

Le système d'OI se trouve à l'intérieur du bâtiment de production et est organisé en trois sous-systèmes différenciés essentiellement par la nature du fluide qu'ils acheminent. Chaque

sous-système dispose de ses propres collecteurs principaux, de ses instruments et de ses vannes associées. [13]

Il y a les sous-systèmes suivants :

Sous-système d'eau d'alimentation : le fluide circulant est l'eau de mer d'entrée au traitement d'OI. L'eau de mer d'alimentation aux membranes doit être préalablement conditionnée dans les conditions requises par celles-ci. Ce conditionnement est essentiellement basé sur un contrôle de la matière en suspension et sur un dosage chimique pour éviter la croissance biologique et la précipitation d'incrustations dans les membranes.

Sous-système d'eau dessalée : le fluide de circulation est l'eau qui a traversé les éléments de la membrane (7 membranes par tube de pression). Ce courant est caractérisé par le fait qu'il possède une plus faible concentration saline que celle de l'eau de mer.

Sous-système d'eau de rejet : le courant de saumure circule dans ce sous-système. Il ne traverse pas les éléments de membrane et c'est le courant ayant la concentration saline la plus élevée. [13]

III.6.MEMBRANES

Les membranes utilisées dans la SDEM de béni saf sont de chez Hydranautics. Les membranes d'OI sont constituées de films de polyamide à enroulement en spirale avec une feuille de séparation entre deux membranes. Cette feuille se comporte comme un canal dans lequel circule l'eau d'alimentation/saumure qui alimente l'élément suivant de membrane à l'intérieur du tube de pression

Le modèle des membranes sélectionné est le SWC5 qui est approprié lorsque le courant d'eau d'alimentation est de l'eau de mer. Son pourcentage de rejet des sels est supérieur à 99,7%. [13]

III.7.DESCRPTION DU RECUPERATEUR D'ENERGIE

Le rejet des membranes est dirigé vers le PX (the pressure Echanger), qui transfère la pression du rejet à l'eau d'alimentation, et la renvoie vers les membranes. Le PX fournit donc en eau de mer prétraitée, la quantité de concentrat qu'il reçoit.

Le travail du rotor peut être vu comme deux longueurs de tuyaux en rotation. L'eau d'alimentation à basse pression entre dans un tuyau, puis est transférée sur le côté haute

pression du PX, grâce à la rotation du rotor. En même temps, le rejet de la membrane à haute pression entre dans l'autre tuyau puis est transférée vers le côté basse pression.

Du fait que la totalité du rotor soit composé de ces tuyaux, il existe en permanence un débit entre les côtés basse pression et haute pression du PX. [13]



Figure III.12 : les récuperateurs d'énergie (ERI) d'un module d'OI de la SDEM

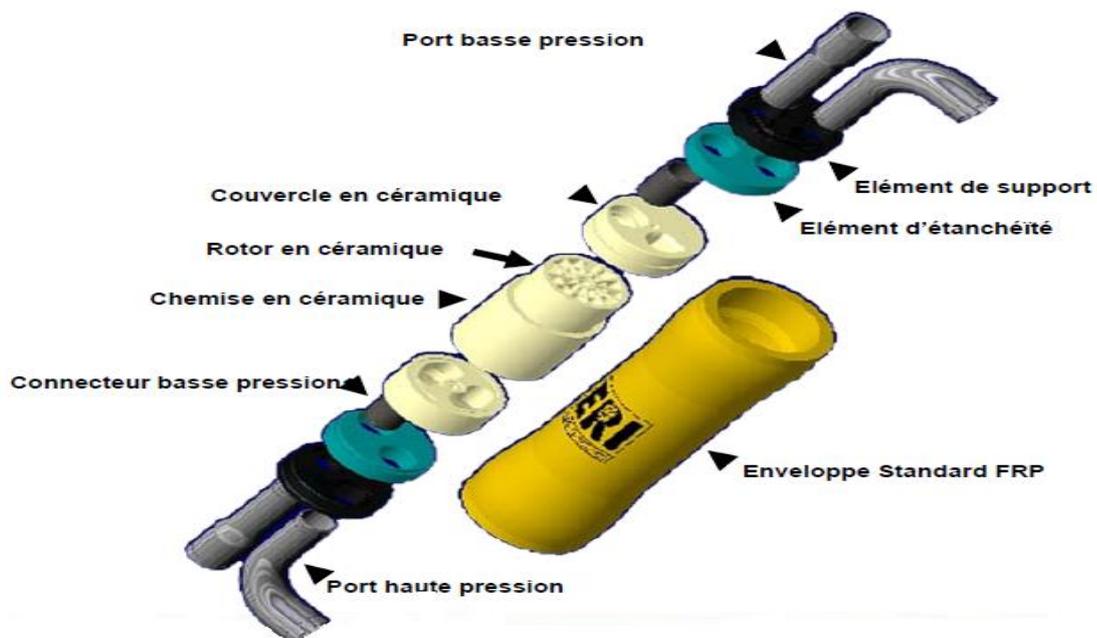


Figure III.13 : les composants d'un ERI

III.8.POST TRAITEMENT

Le Post Traitement est l'ultime traitement de l'eau produite à partir du dessalement d'eau de mer avant sa distribution dans le réseau public qui est distingué par deux phases importantes :

- Reminéralisations avec CaCO_3 (carbonate de calcium)
- Désinfection finale (Hypochlorite de Sodium) [17]

III.8.1.REMINERALISATION

La reminéralisations de l'eau produite par le traitement d'osmose inverse est réalisée par l'addition d'une quantité de 30 tonne de calcite (CaCO_3) (fig. 30)dans dix chambres à l'entrée du réservoir d'eau produite. Cette opération se fait pour ajuster la valeur du pH de l'eau et ainsi pour éviter les problèmes liée au CO_2 dissous dans l'eau pour obtenir une eau ni agressive, ni incrustante. [17]

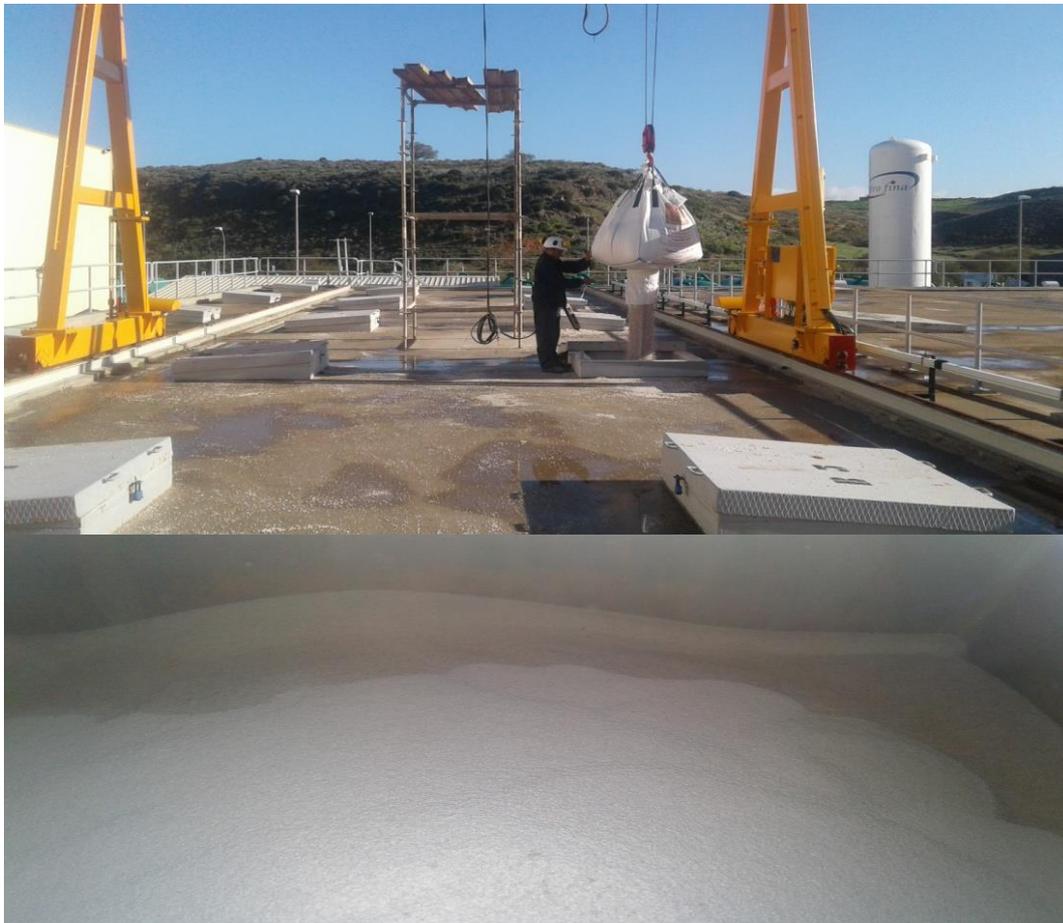


Figure III.14 : Calcite

III.8.2. DESINFECTION FINALE

La désinfection est réalisée par l'injection de la solution d'hypochlorite de sodium, elle a pour but d'éviter le développement des bactéries dans l'eau. [17]

III.9. SYSTEME DE CONTROLE

Avec un système de contrôle digitale (DCS) Yodogawa, tous les équipements de la station sont contrôlables à partir de la salle de contrôle. [17]

III.10. REFOULEMENT D'EAU AU CLIENT

Après la désinfection l'eau passe à un réservoir de l'eau produite et on injecte l'eau de javel de 5 PPM puis distribué dans le réseau d'alimentation à l'ADE d'Ain T'émouchent. Le système de refoulement d'eau est composé de 11 pompes (10 en service et 1 en réserve), avec un débit de refoulement de 833 m³/h par pompe (8334 m³/h en total) et une pression maximale de refoulement de 30 bars. [17]

III.11. DECHARGE DE LA SAUMURE

Les rejets de saumure sont collectées dans le bassin de saumure avant d'être rejetées à la mer via un émissaire marin de 1800m en PEHD à 500 m de la côte, dans le but d'assurer une meilleur dilution et d'éviter des conséquences indésirables pour l'environnement. [17]



Figure III.15 : Bassin de saumure

CONCLUSION :

La station de dessalement de la plage El Hillel fait partie des grandes usines de dessalement en Algérie avec une capacité de production de 200000 m³/jour. En effet, ce projet contribue à résoudre la pénurie des ressources en eau de la wilaya d'Ain Témouchent et ceux de la partie ouest de la wilaya d'Oran. Cette station est basée sur la technique d'osmose inverse qui a connu un grand développement et présente beaucoup d'avantages, et plus performante du point de vue. Energétique, avec des filtres à sables et cartouches, intégrant des technologies pionnières, notamment en matière de récupération d'énergie.



Chapitre IV
La partie expérimentale

INTRODUCTION :

Nous avons fait une étude expérimentale à propos du dessalement de l'eau de mer au Niveau du laboratoire du génie de l'eau et de l'environnement du centre universitaire Belhadj Bouchaïb, sur un pilote d'osmose inverse. Nous avons discuté dans cette expérience à l'effet de la pression, la concentration et le débit d'alimentation sur les performances du dessalement par osmose inverse, les résultats et les discussions de chaque expérience sont mentionnées dans ce chapitre.

IV.1. DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT DU PILOTE « ROUC »

L'unité ROUC se compose d'une pompe à trois pistons à déplacement positif. Le moteur de la pompe de pression est alimenté par un variateur de fréquence qui permet d'obtenir des débits différents en fonction du procédé de séparation nécessaire.

Parce que c'est une pompe volumétrique, le débit obtenu est proportionnel à la vitesse du moteur. Par conséquent, la pompe alimente l'effluent à deux membranes tubulaires reliées en série placées dans le module à membrane.

Cette solution continue de se déplacer dans la partie intérieure du tube, le flux de perméat de la partie intérieure du tube en direction de l'enveloppe extérieure et le concentrât est obtenu à l'extrême finale des tubes. L'unité ROUC effectue un processus de filtration par écoulement transversal, ce qui évite l'apparition d'impuretés qui réduit la capacité du système. L'effluent déplacé par la pompe reçoit un peu de chaleur à partir de la pompe de manière à ce que sa température augmente. Le perméat est stocké dans un réservoir de produit final. Le concentrât remonte au réservoir initial afin d'être utilisé à nouveau comme un affluent, mais, en raison de l'augmentation de sa température, ce concentrât passe à travers un échangeur de chaleur à plaque dans un courant inverse. Le contrôle de la pression de l'unité à membrane est effectué par la vanne de régulation rouge.

IV.2. LES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE L'UNITÉ ROUC

- Réservoir en acier inoxydable d'alimentation (avec une capacité maximale de 15 L)
- Réservoir du perméat en acier inoxydable (avec une capacité maximale de 15 L)

- Pompe d'alimentation volumétrique à trois pistons :
 - Débit maximal : 38 L/min
 - Pression maximale : 150 bars
 - Pression de fonctionnement maximale : 55 bars
 - La pompe comporte une soupape de sûreté pour protéger l'unité
 - Un variateur de fréquence qui commande le moteur de la pompe
- Soupape de commande
- Soupape de limitation de pression
- Echangeur de chaleur pour le concentrât
- Module à membranes
 - Deux membranes tubulaires reliées en série
 - Diamètre de la membrane : 12.5mm
 - Surface de la membrane : 0.000122m²
 - Pression de fonctionnement maximale : 55bars
- 6 membranes de chaque modèle des éléments suivant sont fournies :
 - RO01 : rétention caractère (99% de Na Cl), processus : osmose inverse, Pression Max (45 bars) ;
 - UF02 : rétention caractère (20 000 Da), processus, ultrafiltration, Pression Max (10 bars)
 - UF03 : rétention caractère (200 000 Da), processus : ultrafiltration, Pression Max (15 bars)
- Deux vannes de régulation pour contrôler le débit d'eau et le débit de l'effluent
- 6 capteurs de température, de type "J"
- Capteur de pression (0-100 bars)
- Capteur de débit (entrée d'eau), plage : 0.25 à 6.5 l/min
- 1 Commutateur de niveau
- Les dimensions de l'unité
 - Hauteur : 1000 mm
 - Largeur : 800 mm
 - Longueur : 800 mm
- L'unité requiert :
 - Une tension triphasée

- Un approvisionnement en eau domestique pour l'échangeur
- Un drainage ou une évacuation de l'eau



Figure IV.1 : l'installation pilote ROUC (laboratoire du génie de l'eau et de L'environnement).

Avec :

- | | |
|---------------------------------|----------------------------|
| Module à membrane | 5. Réservoir du concentrât |
| Vanne de régulation de pression | 6. Commutateur de niveau |
| Réservoir du per méat | 7. Pompe à trois pistons |
| Échangeur de chaleur | 8. Variateur de fréquence |

- Le boîtier d'interface de contrôle fait partie du système SCADA.
 - Boîte d'interface de commande connectée à un ordinateur permet comme montré dans la figure de :
 - Visualiser simultanément tous les paramètres impliqués dans le processus
 - Calibrer tous les capteurs impliqués dans le processus
 - Voir une représentation réelle des courbes en fonction du temps
 - Stocker toutes les données du processus et les résultats dans un fichier

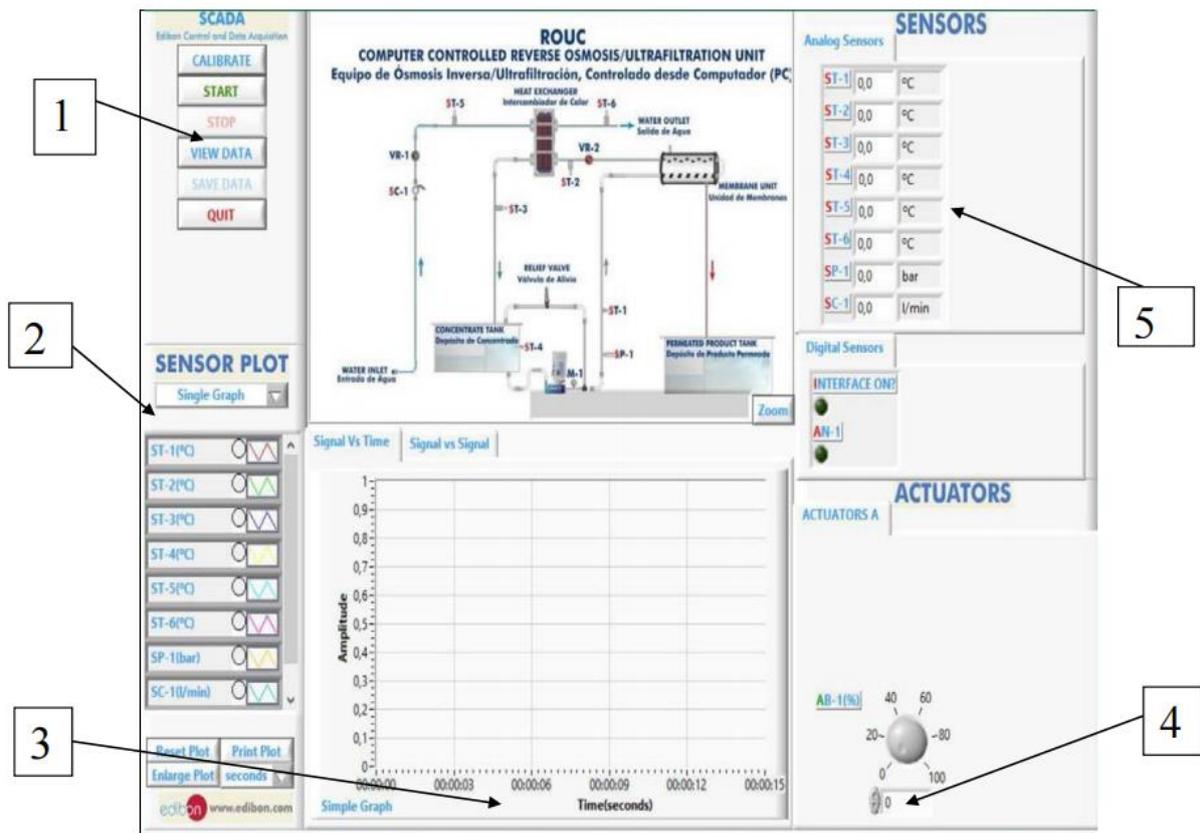


Figure IV.2: boîtier d'interface de contrôle

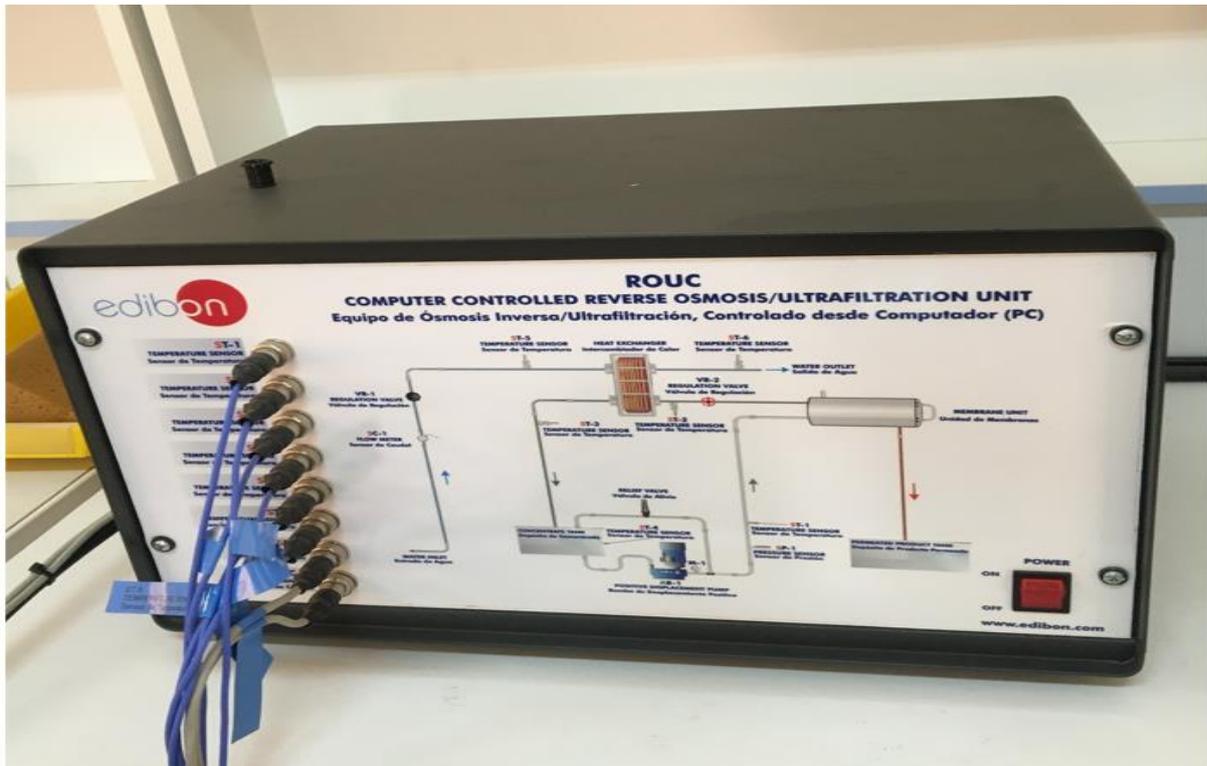


Figure IV.3: contrôler boîte d'interface

Avec :

- 1 : Principales possibilités d'exploitation du logiciel
- 2 : La sélection des canaux et d'autres paramètres de tracé
- 3 : l'affichage graphique en réel temps
- 4 : contrôles Actionneurs. Actionneurs: AB = pompe. AN = Commutateur de niveau
- 5 : Capteurs d'affichage des valeurs en temps réel, et les paramètres de sortie supplémentaires

Avec :

ST = Capteur de température

SP = Capteur de pression

SC = capteur de débit

IV.3. PREPARATION DES SOLUTIONS

Pesé la quantité de sel nécessaire suivant la concentration (5 g /L) en utilisé le balance électrique.

Préparé une solution homogène de sel dans un volume d'eau.

Mettre cette solution dans le bassin d'alimentation puis ajouté de l'eau jusqu'au 10 L

La solution est prête pour l'utiliser.

IV.4. DISPOSITIFS DE L'EXPERIENCE

Mettre en marche le pilote.

Mettre en marche de la pompe d'alimentation et en fixer le débit à 25 L/min pour chaque expérience.

Régler la pression d'alimentation (pression d'entrée), On contrôle les pressions manuellement.

- ✓ 1^{er} expérience : $P = 13,2$ bar
- ✓ 2^{ème} expérience : $P = 24$ bar
- ✓ 3^{ème} expérience : $P = 29$ bar
- ✓ 4^{ème} expérience : $P = 36$ bar
- ✓ 5^{ème} expérience : $p = 40$ bar

Prendre 30 échantillon (perméat et concentra) pour chaque expérience.

Pour chaque échantillon duré de 3 min.

Noter les mesures de la salinité pour les échantillons.

IV.5. PROCEDURE GENERALE DU L'ARRET

Ouvrir au maximum les vannes de réglage de débit VR (vanne rouge).

Arrêter la pompe d'alimentation par son bouton de commande sur la position (STOP)

Fermer la vanne d'alimentation d'eau de refroidissement. Vidanger les bassins de eau (concentra et perméat) par les vannes de vidange. Le pilote est prêt pour une autre manipulation.

IV.6.MATERIELS UTILISE



Figure IV.4 : balance électrique (laboratoire de département d'hydraulique)



Figure IV.5 : compteur de sel

IV.7 LES CONTRAINTES

- ❖ Manque d'eau de refroidissement, ont été obligé de refroidir l' eau par un système manuelle .
- ❖ En utilisant un réservoir placer dans un niveau supérieur à celui du Pilot (voire le **figure 6**)
- ❖ L'eau est chaude à cause des problèmes de pression (circuit fermé), cette augmentation de température à engendré une augmente de pression.
- ❖ On a remarqué l'existence des fuites d'eau au niveau pilot.

- ❖ Manque d'eau distillé pour la préparation des solutions.
- ❖ Déclanchement inexplicable du Pilot.
- ❖ Le produit de nettoyage des filtres n'est pas disponible.

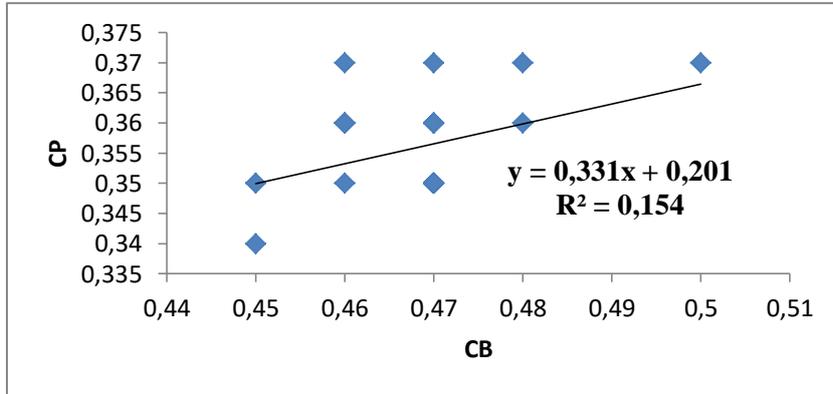


Figure IV.6 : réservoir de refroidissement

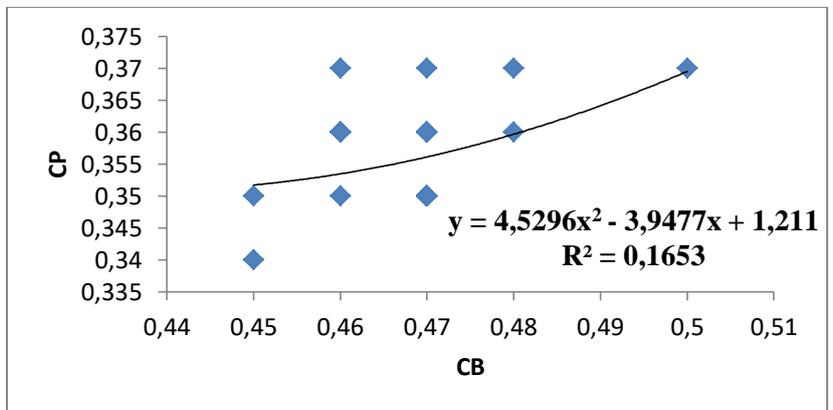
IV.8.INTERPRETATION DES GRAPHES

IV.8.1.LA PREMIERE EXPERIENCE

a)



b)



c)

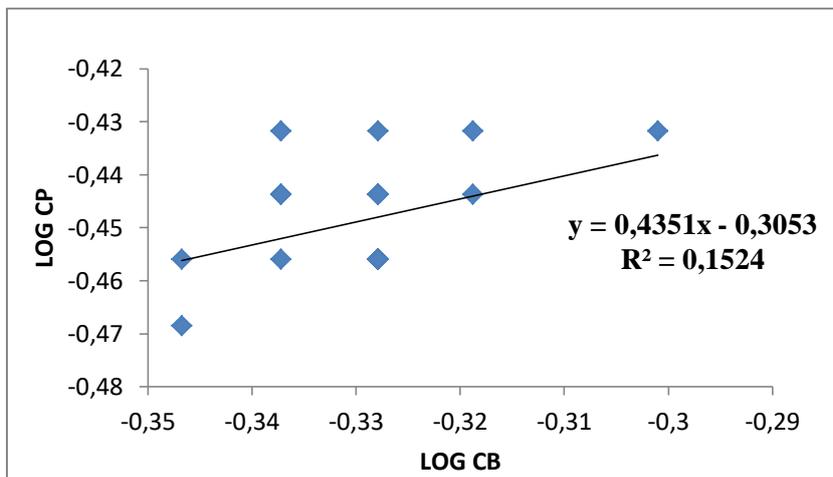
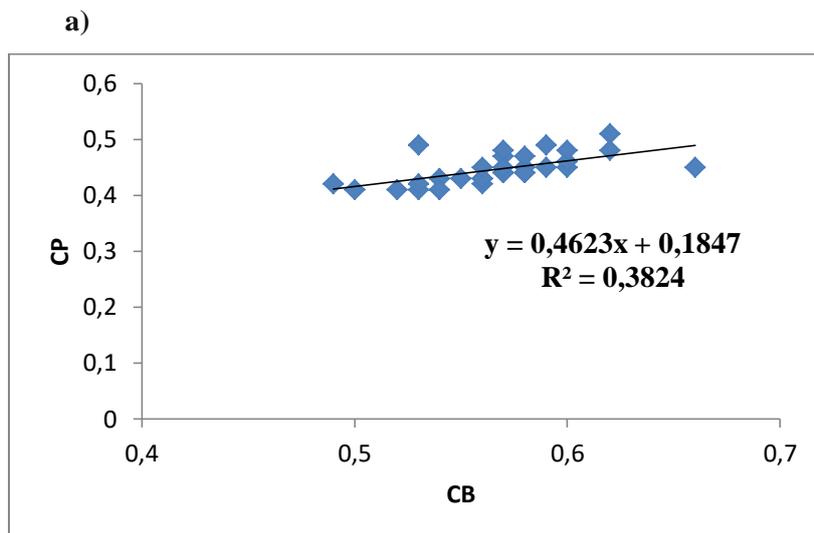


Figure IV.7 : les variations de concentration d'eau permeat en fonction de la concentration d'eau brute, (a) : modélisation linéaire, (b) : polynomiale, (c) : logarithmique, Pour une pression de 13bars et un débit de 25L\min, une concentration de 5g\L.

❖ L'interprétation de la première expérience

La **figure IV.7** montre la variation de la concentration de l'eau permeat « CP » en fonction de la concentration de l'eau brute « CB » pour une pression de 13bars et un débit de 25L\min, une concentration de 5g\L. On remarque que la variation entre ces deux paramètres est aléatoire, cette remarque est justifier par le coefficient de corrélation R^2 . On a adapté trois modèles pour modéliser cette variation, la première est linéaire (**figure IV.7(a)**), la deuxième est polynomiale (**figure IV.7(b)**), la troisième est logarithmique (**figure IV.7(c)**), Pour ces trois modèles numériques le coefficient de corrélation n'a pas dépassé 0,165 pour un modèle polynomiale et 0,152 pour un modèle logarithmique, cette faible relation est due principalement au temps de prélèvement insuffisant, $t [30s, 3min]$.

IV.8.2.LA DEUXIEME EXPERIENCE



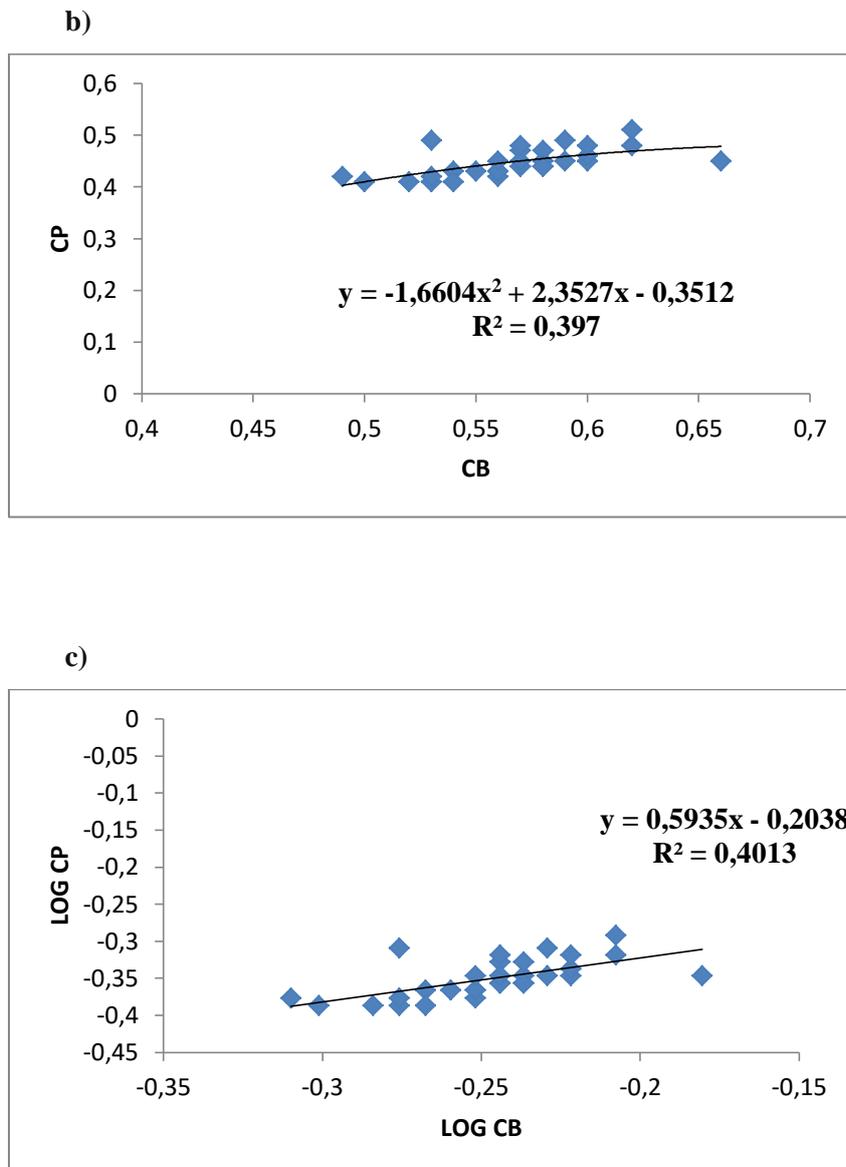


Figure IV.8 : Les variations de la concentration de l'eau permeat en fonction de la concentration de l'eau brute, (a) : modélisation linéaire, (b) : polynomiale, (c) : logarithmique. Pour une pression de 24bars et un débit de 25L/min, une concentration initiale de 5g/L.

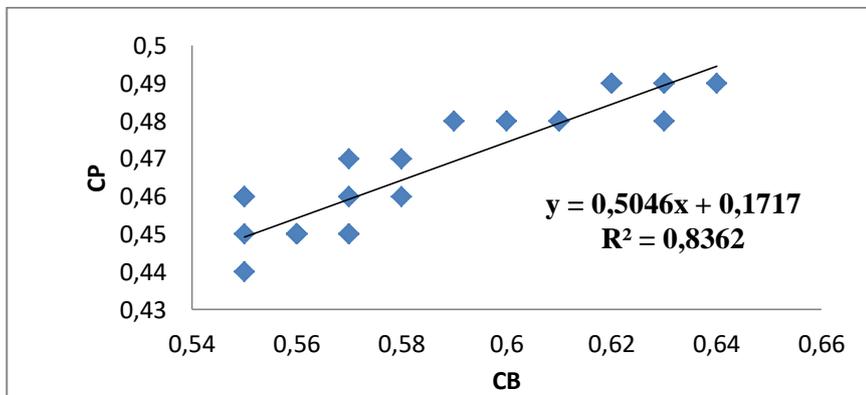
❖ L'interprétation de la deuxième expérience

La figure IV.8 montre la variation de CP en fonction de CB pour une pression de 24bars et un débit de 25L/min, une concentration initiale de 5g/L. On a pris un temps de prélèvement suffisant pour stabiliser le bon déroulement de l'expérience (3min).

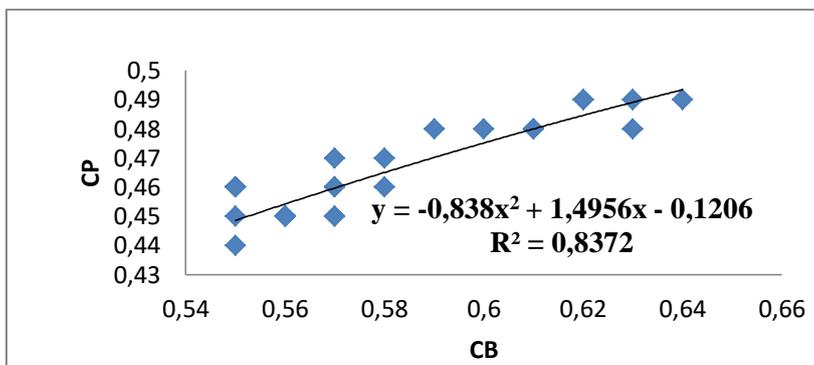
Les résultats obtenues sont plus logique par rapport à l'expérience 01, On constitue cette remarque par l'augmentation du coefficient de corrélation R^2 qui atteint 0,4 pour le modèle logarithmique, On remarque aussi que l'existence d'une relation croissante entre le CP et le CB.

IV.8.4.LA TROISIEME ET LA QUATRIEME EXPERIENCE

a)



b)



c)

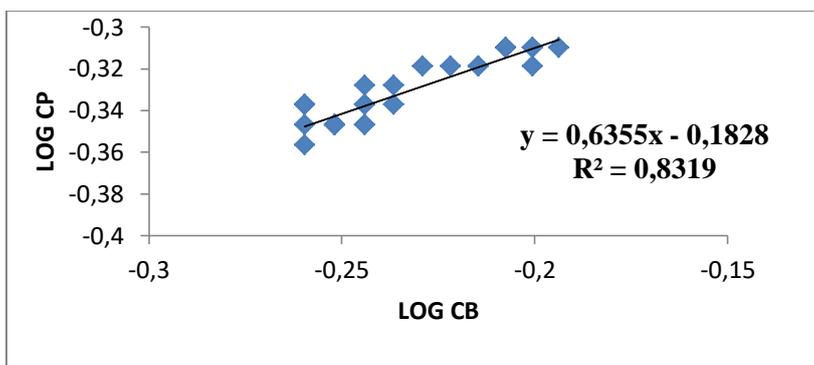
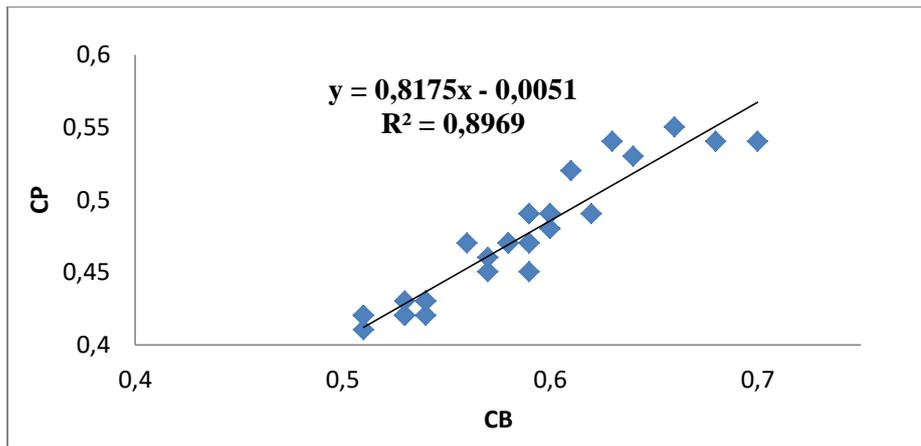
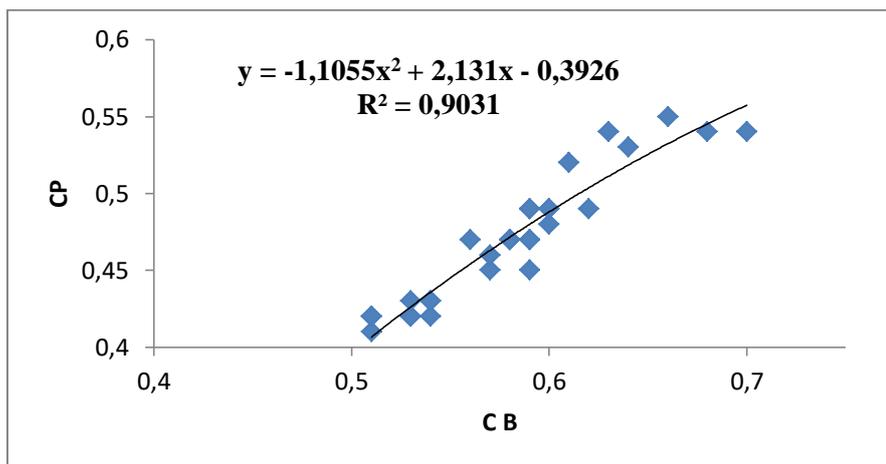


Figure IV.9 : Les variation de concentration de l'eau permeat en fonction de la concentration de l'eau brute,(a):modélisation linéaire,(b):polynomiale,(c):logarithmique Pour une pression de 29bars et un débit de 25L\min, une concentration initiale de 5g\L.

a)



b)



c)

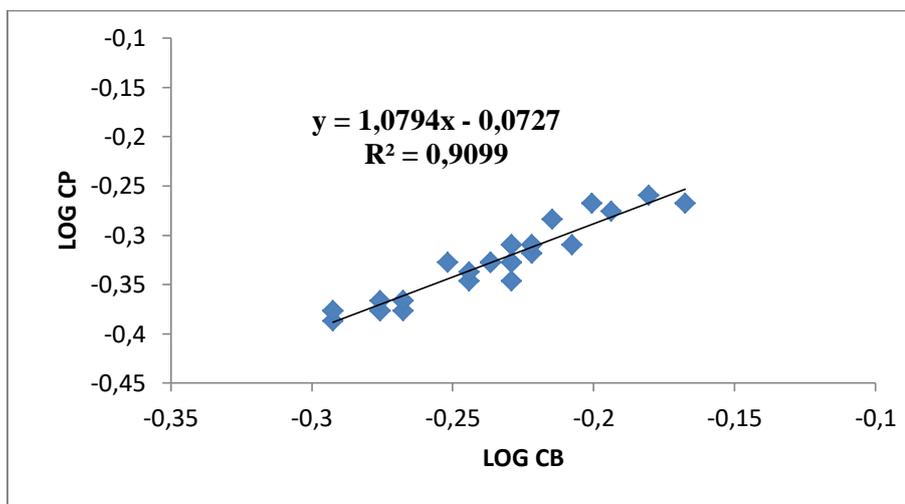


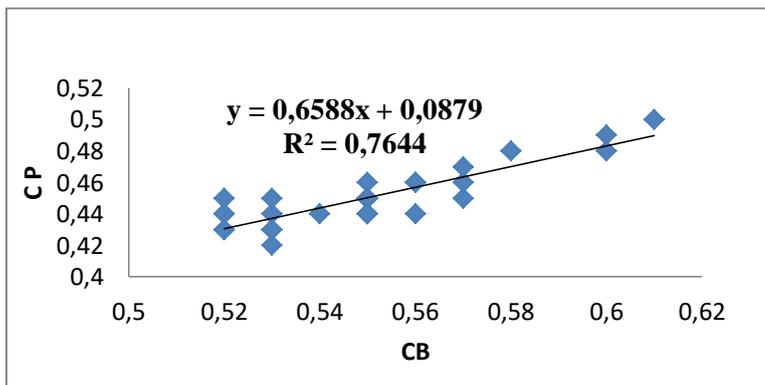
Figure IV.10 : Les variations de concentration de l'eau permeat en fonction de l'eau brute, (a) : modélisation linéaire,(b) :polynomiale,(c) :logarithmique .Pour une pression de 36bars et un débit de 25L\min, une concentration initiale de 5g\L .

❖ L'interprétation de la troisième et la quatrième expérience

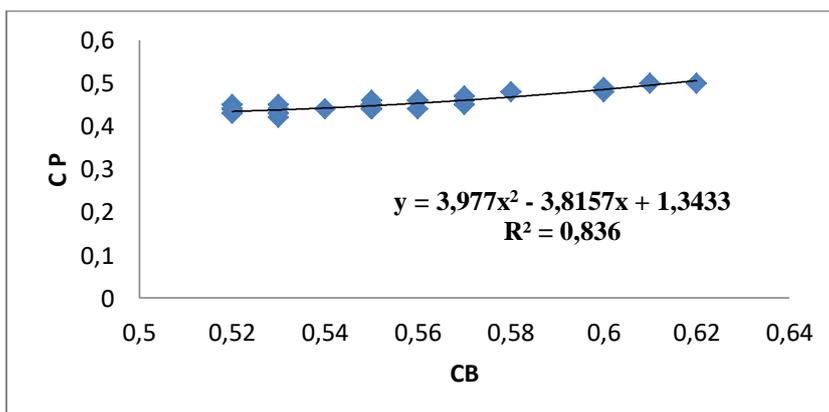
On remarque que les variations de CP est devenues plus importantes que les précédentes expériences et la relation entre ces deux paramètres est devenue importante ou elle attend R^2 égale 0,83 pour une modélisation logarithmique et linéaire, le même pour l'expérience quatre.

IV.8.5.LA CINQUIEME EXPERIENCE

a)



b)



c)

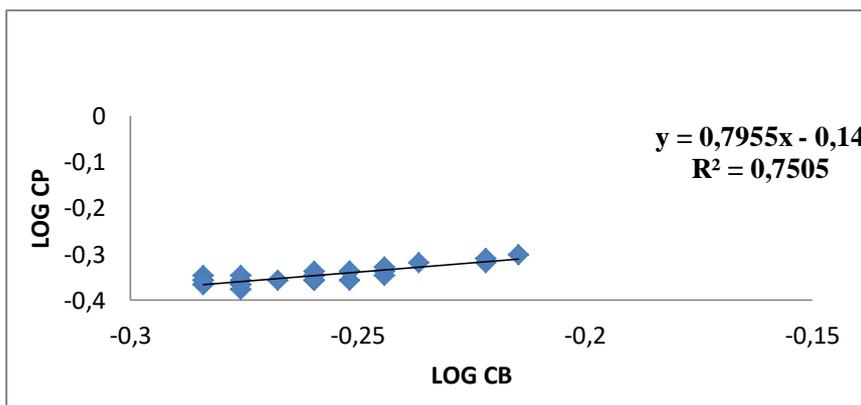


Figure IV.11 : Les variations de concentration de l'eau permeat en fonction de l'eau brute, (a) : modélisation linéaire,(b) :polynomiale,(c) :logarithmique .Pour une pression de 40 bars et un débit de 25L\min, une concentration initiale de 5g\L .

❖ L'interprétation de la cinquième expérience

La figure IV.11 montre les variations de la concentration de CP en fonction de CB pour une pression de 40 bars et un débit de 25L\min, une concentration initiale de 5g\L .On remarque que la pente est diminuée et que le coefficient R^2 a baissée jusqu'à R^2 égale 0,75 pour une modélisation logarithmique.

IV.8.6.L'INTERPRETATION FINALE

Les cinq expériences établés pour différentes pressions ,on a trouvés l'effet de la pression sur la concentration du l'eau permeat ,ou des faibles pression On a remarqué que le rendement du processe est très faible ,par contre si en augmente la pression ,la concentration du permeat CP change légèrement avec l'augmentation de CB pour la même pression .Cette observation est remarquable pour les deux dernières pression ,On peut justifier ca par la pression osmotique de l'eau.

CONCLUSION :

Dans notre étude nous avons pu arriver à notre but qui est de évaluer les effets de la pression et du débit sur les performances d'un système de dessalement et on a estimé la consommation énergétique de notre pilote.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

Le dessalement d'eau de mer est devenu un enjeu important pour pallier le manque d'eau dans certaines régions du monde où la ressource en eau devient rare et avec le développement technologique l'osmose inverse prend de l'avance sur les autres techniques de dessalement à savoir la distillation thermique.

Dans la station de dessalement de Béni Saf, les étapes de prétraitement utilisées garantissent le bon entretien des équipements de l'usine, une longue durée de vie des membranes et une production d'eau douce en quantité et qualité remarquables.

Notre étude, bien que limitée dans le temps, nous a permis d'aboutir à nos buts et d'évaluer l'influence des paramètres (pression et débit) sur les performances du procédé de dessalement par osmose inverse.

Références Bibliographie

REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

[1] **A. 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. Matriçons.** *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. Gallus,** *Les techniques de dessalement de l'eau de mer prennent de l'essor,* extrait du Monde, 12 Janvier 2000, p.24

[6] *Usine Nouvelle, Septembre 1999.* Les ressources en eau dans le monde

[7] **M. Chartier,** *Les prix du dessalement, Marée d'eau douce,* Hydro plus, 121, Mars 2002, p.24 à 39.

[8] *Site de la société Alfa Laval qui commercialise des systèmes de dessalement thermiques*
<https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-physique/thermodynamique-chimique/le-dessalement-de-l-eau-de-mer-et-des-eaux>

[9] : **BENSAADI ; 2004,** *Etude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer.*

[10] : **OUSSEDIK.2001,** *Memento et technique de l'eau.*

[11] : www.lenntech.fr › électrodialyse

[12] : **BENAISSA. F ;** (*Etude sur le procédé d'osmose inverse pour le dessalement des eaux faiblement saumâtres*)

Références Bibliographie

[13] : **Mostefaoui. L**, « *Dessalement d'eau de mer par osmose inverse, fonctionnement et effets des paramètres sur le rendement* »

[14]: (**APC Ouled El Kihel, 2008**).*Influence des paramètres opératoires sur les performances d'un system de dessalement*

[15]: (**LEKMECHE Z., 2007**).*Desalination of sea water and brackish water*

[16]: (**HADJALI Y., 2012**).*Impact des station de dessalement de l'eau de mer sur le littoral cas de la station de plage hilel*

[17] : **MOHAMMEDI, H &, SABRI, F** (*SUIVI DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE LA STATION DE DESSALEMENT DE PLAGES EL HILLEL BWC (NO ALGERIE)*) p 14.

[18] : **E21 - LE TRAITEMENT DE L'EAU PAR FILTRATION LENTE SUR SABLE À USAGE FAMILIAL**

[19] : *Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres par osmose inverse PDF, 26/02/2013*

[20] : **CHENAOUI BAKHTA**, « *Dessalement de l'eau de mer à la station de MAINIS et son impact sur l'environnement* », Département d'hydraulique, Université de CHLEF http://www.univ-chlef.dz/uhbc/seminaires_2010/chenaoui_bakhta_OUARGLA_2010.pdf
Consulté le 05/03/2013.

[21] : **hind khazars**, « *dessalement de l'eau de mer par osmose inverse* »

[22] : **ALAIN MAUREL** « *Dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtre* », Edition Lavoisier 2006, 2 e édition, année 2006, page, 5, 19, 80, 81-82, 91,99, 118- 120,173, 286, 296

[23]: <http://www.pureprofrance.fr/56-principe-osmose-inverse#sthash.gVjMQxzJ.dpuf> Les schémas sont extraits de l'excellent livre de Jacques Colline, "L'eau, le miracle oublié" Guy Trépaniez Editeur, consulté le 26/01/15

[24] : <http://hmf.enseiht.fr/travaux/bei/beiere/content/pretraitement> 2006, consulté le 28/01/2015

[25] : *Document de référence sur les meilleures techniques disponibles, Systèmes communs de traitement des eaux et gaz résiduaires dans l'industrie chimique* Février 2003, pdf

[26] : *Energies renouvelables et environnement ; bureau d'études industrielles ;*
<http://hmf.enseiht.fr/travaux/bei/beiere/content/2012-g04/congelation> consulté le 29/02/2014.

[27] : http://fr.wikipedia.org/wiki/Distillateur_solaire consulté le 28/02/2014.

[28] : <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/11178/le-distillateur-solaire> consulté le 18/02/2014.

[29] : **BELKHARCHOUCHE Djanet (2010)** : « adsorption du bore par les alumines modifiées » *Mémoire Présenté pour obtenir le diplôme de MAGISTERE en Chimie Analytique Physiques Environnement, UNIVERSITE Mentouri – Constantine, Faculté des Sciences Exactes, Département de CHIMIE.*

[30] : **W.J.Masschelian, traduit par H.Chevolet (1997)** : « Processus unitaire du traitement de l'eau potables » *Lavoisier.*