



Département: Génie des procédés.

Domaine : Sciences et Technologies.

Mémoire de Master

Présenté au :

Filière : Génie des Procédés

Spécialité: Génie de l'Environnement

Réalisé par :

BOURAHLA Fares

Et

DJELLID Rabeh

Thème

Réalisation d'un appareil de distillation pour le dessalement d'eau de mer

Soutenu Devant le jury composé de :

KETTAB Ahmed	Professeur	Univ. Bouira	Examineur
KADOUCHE Slimane	M.C.A	Univ. Tizi Ouzo	Examineur
LOUNICI Hakim	Professeur	Univ. Bouira	Directeur de mémoire
HAMADACHE.A	MCB	Univ. Bouira	Co-Directeur de mémoire

Dédicace



Grâce à Dieu et à son soutien et avec le soutien des prières des proches et de la famille, ce travail a été accompli.

*Mais je suis honoré que cet ouvrage porte le nom de ma mère, **Rai Fatíha**, sans qui ma quête n'aurait aucun résultat, et je n'oublierai pas la faveur de mon père **Muhammad**, qui a toujours été le dos sur lequel Je me repose et qui peut être fière de trouver ici le résultat de longues années de sacrifices pour m'aider à avancer dans la vie ;*

*Je dédie ce modeste travail à mes chères sœurs **BOUCHRA** et **ABLA** et **NOURHANE** et mon cher frère **ABD ELMALEK**.*

Enfin, je voudrais remercier tous ceux dont les prières ont été la raison de cette réalisation.

Fares bourahla (h)

Dédicaces



*A tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin, à toute la famille et amis, chacun en son nom (Walid, MITCHI, RANIA, SOUMAYA, ABDO ; SMAIL ET HOUCEM ...) et surtout la personne qui m'a toujours aidé dans ce travail, que ce soit en y participant ou par des invitations sincères à l'ami IMAN. . Je n'oublie pas et n'oublierai jamais **mon père**, dont la présence dans ma vie a été le grand soutien et motivation pour continuer, et à **ma mère**, que Dieu ait pitié d'elle. J'espère que j'ai réalisé quelque chose de son désir.*

DJELLID RABAH

Remerciements

Avant tout, nous louons Allah le tout-puissant pour nous avoir donné la patience et la volonté afin de mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à remercier, en premier lieu, notre promoteur **Mr. HAKIM Lounici**, de nous avoir proposé ce sujet. Nous le remercions pour ses conseils et les précieuses orientations qu'ils n'ont cessé de nous apporter tout au long de ce travail.

De même, nous adressons notre remerciement à **Dr. HAMADACHE.A** pour sa confiance, son aide et soutien et tous ces conseils au long de notre travail.

Nos remerciements également vont aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail.

Enfin, Nous associons à ces remerciements tous ceux qui ont contribué à réaliser ce travail.

Résumé

Le travail présenté dans ce thème se concentre sur les étapes les plus importantes utilisées pour réaliser un dispositif de distillation, pour dessaler l'eau de mer. Nous avons utilisé l'application « TEMP004 », pour un suivi automatiquement pendant le processus de distillation.

Nous avons également expliqué les étapes les plus importantes suivies pour l'analyse de l'eau et les normes internationales et nationales qui déterminent la validité de l'eau.

Aussi dans la partie théorique, nous avons également ciblé les méthodes de dessalement de l'eau de mer dans les usines de dessalement et expliqué leurs impacts sur l'environnement.

Table des Matières

Remerciements	I
Résumé.....	II
Table des Matières	III
Liste des Figures	VI
Liste des Tableaux	VII

Introduction Générale 1

Chapitre 1 : CARACTERISTIQUES DES EAUX SALINES ET DES EAUX SAUMATRES

1. Introduction	2
2. Sources des eaux	2
2.1. Les eaux souterraines	2
2.2. Les eaux de surface	3
2.2.1. Lac	3
2.2.2. Rivières et ruisseaux	3
2.3. Les eaux de mer	4
2.3.1. Composition de l'eau de mer	4
2.3.1.1. Constituants primaires et secondaires.....	4
2.3.1.2. Matières organiques	5
2.4. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer et des eaux saumâtres	6
2.4.1. Salinité	6
2.4.1.1. Mesure de la salinité.....	6
2.4.2. Densité	7
2.4.3. Solubilité	8
2.4.4. Température	9
2.4.5. PH	9
2.4.6. La dureté	9
2.4.7. Conductivité électrique	10
2.4.8. Matières en suspension	10
2.5. Paramètres organoleptiques	11
2.5.1. Couleur.....	11
2.5.2. Goûts et odeurs	11
2.5.3. Turbidité.....	11
3. Paramètres microbiologique	11
4. Les eaux saumâtres	13
4.1. Définition	13
4.2. Salinité des eaux saumâtres	14
5. Méthodes d'analyse les eaux de mer et saumâtres	14
5.1. Méthode AOX SPE : Analyse des AOX dans les eaux de mers et salines	14
5.2. DCO Michel (Méthode IFREMER) : Analyse DCO dans les eaux de mers et salines	14
5.3. Méthode ICP-MS : Analyse des métaux dans les eaux de mer et salines	14

5.4. Méthode colorimétrique avec réactif au vanadium : Analyse des nitrates et nitrites dans les eaux de mers et salines	15
6. Les normes de potabilité de l'eau	15
7. Conclusion.....	17

Chapitre 2 : DIFFERENTS PROCEDES DE DESSALEMENT

1. Introduction	18
2. Dessalement.....	18
2.1. Définition.....	18
2.2. Les principes de dessalement	18
2.2.1. Captation de l'eau de mer	18
2.2.2. Le prétraitement	19
2.2.2.1. Procédés typiques de prétraitement du dessalement d'eau de mer	20
2.3. Les procédés de dessalement	21
2.3.1. Procédés membranaires.....	21
2.3.1.1. L'osmose inverse	21
2.3.1.2. L'électrodialyse	24
2.3.2. Le procédé de distillation	25
2.3.2.1. Définition.....	25
2.3.2.2. Méthodes de distillation	26
2.4. Les problèmes techniques rencontrés en dessalement.....	28
2.4.1. Entartrage.....	28
2.4.2. Corrosion.....	29
2.4.3. Colmatage	29
2.5. Les différents impacts de dessalement de l'eau de mer sur l'environnement.....	29
2.5.1. Des procédés énergivores	30
2.5.2. Des impacts dépendant du lieu de prélèvement d'eau de mer	30
2.5.3. Effets des produits chimiques.....	31
2.5.4. Impact de bruit.....	32
2.6. Le dessalement en Algérie	32
3. Conclusion.....	34

Chapitre3 : Cadre d'étude

1. Introduction	36
2. Définitions	36
2.1. Echangeur thermique	36
2.2. Echangeur tubulaire	36
2.3. La régulation.....	36
3. Description du dispositif de distillation	37
3.1. Principe de fonctionnement	37
3.2. Les composants et la méthode d'installation	39

3.2.1. Les composants	39
3.2.2. La méthode d'installation.....	39
3.3. Dimension de dispositif	40
4. Partie expérimentale	41
4.1. Matériels et produits	41
4.2. Mode opératoire	41
4.3. Les résultat.....	42
5. Conclusion	49
Conclusion Générale	50
Références	51

Liste des Figures

Fig. 1.1.Le réfractomètre.....	7
Fig. 1.2. Colorimétrie automatisée Aquakem.....	15
Fig.2.1.Les grilles de prise d'eau	19
Fig.2.2.différents procédés de dessalement	21
Fig.2.3. osmose et osmose inverse.....	22
Fig.2.4.Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse	23
Fig.2.5. Principe de fonctionnement de l'électrodialyse.....	25
Fig. 2.6.Principe de distillation à simple effet	26
Fig.2.7.Principe de Distillation à multiples effets.....	27
Fig.2.8.Principe de distillation multi flash.	27
Fig.2.9.Principe de Distillation par compression de vapeur.....	28
Fig.3.1.dispositif de distillation.	37
Fig.3.2.les composés de dispositif.	39
Fig.3.3.Les dimensions de l'appareil sont réalisées à l'aide d'AutoCAD.	40
Fig.3.4.les matériaux ET produits utilisés.....	41
Fig.3.5.l'application « TEMP004 ».....	42
Fig.3.6.le changement de PH en fonction de concentration.	44
Fig.3.7.le changement de conductivité en fonction de concentration avant la distillation	44
Fig.3.8.le changement de conductivité en fonction de concentration après la distillation	45
Fig.3.9.le changement de température pour la concentration de sel =0 g/l	46
Fig.3.10.le changement de température si la concentration de sel = 35g/l.....	47

Liste des Tableaux

Tab.1.1. Concentration des éléments principaux pour une eau de mer de salinité de 35%.....	4
Tab.1.2.Solubilités des sels dans l'eau pure (18°C) en g/l.....	8
Tab.1.3.Normes de qualité microbiologiques de l'eau de boisson fixées par l'OMS.....	12
Tab.1.4.Principales maladies d'origine hydrique et agents microbiologique responsable.....	12
Tab.1.5.Norme de potabilité décrite par l'OMS sur les sels.....	16
Tab.1.6. Norme de potabilité définie par l'Algérie sur les sels	17
Tab.2.1. Les différents colmatages possibles	20
Tab.2.2. Les différentes stations de dessalement en Algérie.....	34
Tab.3.1.mesures de PH et conductivité.....	42
Tab.3.2. Les mesures de PH et de conductivité après ré-expérimentation.....	43
Tab.3.3. le changement de température de l'eau si la concentration de sel est nulle.....	45
Tab.3.4.Température de vapeur à l'entrée de l'échangeur.....	46
Tab.3.5. Température de distillat à la sortie de l'échangeur.....	46
Tab.3.6.Les différents colmatages possibles	46
Tab.3.7.Température d'eau de refroidissement à la sortie d'échangeur	47
Tab.3.8.Température de l'eau si la concentration de sel=35 g /l.....	47
Tab.3.9.Température de vapeur à l'entrée de l'échangeur.....	47
Tab.3.10.Température du distillat à la sortie d'échangeur.....	48
Tab.3.11.Température d'eau de refroidissement à l'entrée d'échangeur.....	48
Tab.3.12.Température d'eau de refroidissement à la sortie d'échangeur.....	48

Introduction Générale

La richesse la plus importante à la surface de la Terre est l'eau. Sans eau, il n'y a pas de continuité de vie. Les êtres humains choisissent toujours de vivre dans des zones riches en eau, mais ces dernières années, la croissance démographique massive et la demande en eau ont accru l'exploitation d'eau, qu'elle soit le domaine agricole ou industrielle... En plus du changement climatique provoquant des sécheresses dans de nombreuses régions du monde, tout cela a entraîné de graves pénuries d'eau douce dans de nombreux pays, déclenchant des conflits internationaux majeurs.

Afin d'éviter ces problèmes, les chercheurs continuent de rechercher des solutions pour réduire la crise de la pauvreté en eau, comme le développement de méthodes de stockage et de distribution, et le recours au dessalement des eaux saumâtres et des eaux de mer. Par conséquent, on note l'augmentation continue de l'usine de dessalement dans les pays qui surplombent la mer, et parmi les premiers pays à implanter des usines de dessalement se trouvent le Royaume d'Arabie Saoudite, en raison de sa capacité énergétique (abondance de pétrole) à faire fonctionner ces stations.

Mais les coûts des usines de dessalement sont difficiles pour de nombreux pays, pour cela on remarque les recherches sont continues pour trouver des alternatives énergétiques au pétrole pour faire fonctionner ces stations, comme le recours à l'énergie solaire et à d'autres méthodes.

A travers ce projet, nous avons parlé des méthodes utilisées dans les usines de dessalement, après avoir abordé les caractéristiques de l'eau de mer et de l'eau saumâtre. Et nous avons réalisé un dispositif de distillation à des fins de dessalement. C'est pourquoi, au cours de cette PFE, nous passons en revue trois chapitres ; Le premier chapitre parle des sources d'eau à la surface de la terre, et nous avons mentionné les eaux de mer et les eaux salines, où nous mentionnons leurs propriétés physique-chimiques et d'autres détails dans ce cadre.

Quant au deuxième chapitre, nous définissons le dessalement de l'eau de mer et on parle à ses principes et méthodes les plus importants, ainsi que certains des effets qu'il engendre sur l'environnement. Dans le troisième chapitre, nous essayons de mettre en évidence les caractéristiques de l'unité de distillation que nous avons créée en montrant son installation, son fonctionnement et ses dimensions.

CHAPITRE 1

CARACTERISTIQUES DES EAUX SALINES

ET DES EAUX SAUMATRES

1. Introduction

L'eau couvre 72 % de la surface de la Terre, avec un volume total estimé à 1,4 milliard de Km³. Les humains n'ont pas perturbé l'approvisionnement en eau au cours des derniers siècles. Cependant, dans le monde moderne, l'exploitation et le contrôle de l'eau disponible dans la nature a altéré les eaux et perturbé leurs fonctions naturelles. Où en sommes-nous jusqu'à présent ? Faisons ici un inventaire.

L'eau de la Terre se compose de 97,5 % d'eau salée, contenue dans les océans, et de 2,5 % d'eau douce contenue dans les lacs, les rivières, les glaciers, les eaux souterraines, etc. L'utilisation humaine de l'eau douce est limitée à un maximum de 0,7 % des réserves totales d'eau.

On estime qu'en 4,6 milliards d'années, la quantité d'eau perdue équivaut à 3 m de la surface totale de la Terre. On peut en déduire une bonne stabilité du volume. Pour en savoir plus sur la nature de ces eaux, il convient de s'intéresser aux mers intérieures, aux océans et à certains aquifères souterrains qui constituent 97,2 % de l'eau. Notre planète bleue est donc avant tout une planète d'eau salée. Par conséquent, toute l'eau douce représente 2,8% du volume total. De ce petit pourcentage, la glace et la neige permanentes représentent 2,1 % et l'eau douce disponible représente 0,7 %. La moitié de ces 0,7 % sont des eaux souterraines.

2. Sources des eaux

Théoriquement, il existe de nombreuses sources d'eau utilisées pour l'eau potable, couvrant plus de 70% de la surface terrestre. On peut donc citer : les eaux souterraines, les eaux de surface, l'eau de mer.

L'eau salée et les océans représentent plus de 97 % de l'eau de la Terre. En excluant les glaciers, moins de 1 % de l'eau de la planète est de l'eau douce à boire.

2.1. Les eaux souterraines

Les eaux souterraines comprennent toutes les ressources en eau trouvées sous terre. L'eau est stockée dans des zones appelées aquifères, constituées de roches poreuses et/ou fracturées. L'eau peut s'accumuler dans ces espaces ouverts pour former des aquifères, occupant tout ou partie des aquifères. La profondeur des aquifères est variable : les plus profondes se trouvent à plusieurs centaines de mètres sous la surface. Les niveaux d'eau souterraine se trouvent près de la surface. Leur faible profondeur les rend vulnérables aux activités humaines.

Les eaux souterraines proviennent du phénomène d'infiltration. À cause de la pluie, de l'eau pénètre dans les pores et les fissures du sol. Poussé par gravité, il traverse le sol puis pénètre dans le sous-sol jusqu'à ce qu'il soit interrompu par des formations denses et imperméables. L'eau s'accumule alors dans tous les espaces de l'aquifère et forme une nappe. [1]

2.2. Les eaux de surface

Le terme comprend toutes les eaux qui circulent ou sont stockées sur les surfaces continentales. Leur volume total est très faible : il représente 0,18 millions de km³, soit 0,013 % de l'hydrosphère.

Leur source est soit une nappe phréatique dont la présence constitue une source d'eau, soit une eau de ruissellement. Cette eau s'accumule dans les cours d'eau avec une vitesse de circulation prononcée. Ils peuvent être stockés dans des réserves naturelles (lacs, ruisseaux, rivières et fleuves) ou artificielles (barrages-réservoirs) et selon la profondeur, il peut y avoir une grande hétérogénéité de qualité.

La composition chimique de l'eau de surface dépend de la nature du terrain rencontré dans son processus. Au fur et à mesure que l'eau se déplace, l'eau dissout les différents éléments constitutifs de la terre. D'autre part, sa teneur en gaz dissous (oxygène, azote, dioxyde de carbone) dépend des échanges à l'interface eau-air et de l'activité métabolique des organismes aquatiques dans l'eau. [2]

2.2.1 Lac

Les lacs se forment lorsque l'eau qui coule le long d'une pente, d'un ruisseau ou d'un ruissellement rencontre des obstacles qui l'empêchent de continuer. L'eau s'immisce alors dans les dépressions qui en résultent, formant parfois de vastes étendues si vastes que certains grands lacs sont appelés océans (par exemple, la mer Caspienne : 371 000 km²).

Les lacs sont alimentés par des cours d'eau ou des eaux de ruissellement et, dans certains cas, par des eaux souterraines. [2]

2.2.2. Rivières et ruisseaux

En très haute montagne, les cours d'eau sont créés par la fonte des glaciers. La fonte des glaces crée des ruisseaux ou des rapides qui glissent sous le glacier et débouchent à ses pieds: c'est l'état glaciaire. D'autres cours d'eau sont des ruissellements d'eaux pluviales excédentaires et/ou souterraines sous forme de sources : ce type de cours d'eau est appelé pluvial. [2]

2.3. Les eaux de mer

L'eau de mer est l'eau salée des océans de la terre. Il est dit "salé" car il contient des substances dissoutes, du sel, et est constitué d'ions, principalement des halogénures comme les ions chlorure et des ions alcalins comme les ions sodium. L'eau de mer contient 30 à 40 grammes de sels dissous pour 1 kg. L'eau salée est l'opposé de l'eau douce, qui contient moins de 1 gramme de sels dissous par kilogramme. En raison de la masse de sel et de l'électrostriction, la densité de l'eau de mer de surface est d'environ 1,025 g/ml, soit 2,5 % supérieure à celle de l'eau douce (1 g/ml). [3]

2.3.1 Composition de l'eau de mer

2.3.1.1. Constituants primaires et secondaires

Parmi les sels dissous dans l'eau de mer, on distingue les constituants primaires et les constituants secondaires. Les constituants primaires, appelés aussi constituants « conservatifs », sont ceux dont les proportions par rapport à l'ensemble sont constantes, quelle que soit la valeur absolue de cette teneur globale. Les deux ions les plus importants sont évidemment ceux qui entrent dans la composition du chlorure de sodium : le chlore

(18,98 g/l) et le sodium (10,56 g/l) ; viennent ensuite, dans l'ordre d'importance décroissante : le magnésium, le soufre (essentiellement sous forme de sulfates), le calcium, le potassium, le brome, le carbone (sous forme de gaz carbonique [dioxyde de carbone], carbonates, bicarbonates), le strontium, le bore, etc. Cette constance de chaque ion pris séparément par rapport à l'ion « chlore » permet, en dosant les chlorures (confondus d'ailleurs avec les autres halogénures), d'obtenir la teneur totale de l'eau en constituants primaires, c'est-à-dire ce qu'on appelle la salinité.[4]

Tab 1.1 : Concentration des éléments principaux pour une eau de mer de salinité de 35%. [5]

Eléments	Concentration (g/l)
Chlorure (Cl ⁻)	21.40
Sodium (Na ⁺)	11 .60
Sulfate (S ₂ ⁻)	3.06
Magnésium (Mg ²⁺)	1.295
Calcium (Ca ²⁺)	0.416
Potassium (K ⁺)	0.390
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	0.145
Bromure (Br ⁻)	0.066
Strontium (Sr ²⁺)	0.027
Bore	0.013
Fluorure (F ⁻)	0.001

Les constituants secondaires, ou « non conservatifs », qui n'existent qu'à de faibles concentrations, sont ceux dont la teneur varie dans le temps et dans l'espace, essentiellement d'ailleurs parce qu'ils sont impliqués dans des processus biologiques. Au premier rang de ceux-ci, il faut mentionner les composés minéraux azotés (nitrites, nitrates, sels ammoniacaux) et phosphorés (phosphates divers), qui sont utilisés par les végétaux chlorophylliens, en même temps que le gaz carbonique, pour faire la synthèse de la matière vivante. Leur teneur dans les eaux de surface, qui tend à devenir nulle, ou presque, lorsque se produit une poussée végétale, augmente très vite avec la profondeur quand l'éclairement devient trop faible pour permettre la photosynthèse, puis se stabilise au-delà de 1 000 à 1 500 mètres en moyenne avant de décroître légèrement, puis de se stabiliser au-delà de 3 500 - 4 000 mètres.

On range aussi parmi les constituants non conservatifs la silice, utilisée par les Diatomées pour l'édification de leur coque finement ornée. Un certain nombre de métaux

lourds, notamment le fer, mais aussi le cuivre et le manganèse, auxquels leur concentration très faible a valu le nom d'oligoéléments, jouent un rôle très important dans les mécanismes physiologiques de divers organismes ; pour être actifs, ils semblent devoir entrer en combinaison avec de petites molécules organiques agissant comme chélateurs.

Les substances organiques dissoutes dans l'eau de mer sont très nombreuses et très mal connues : si le cycle de certaines vitamines comme le cyan cobalamine (vitamine B₁₂) a été étudié dans quelques aires maritimes, on commence seulement à entrevoir l'extraordinaire diversité de toutes les protéines, acides aminés, glucides simples ou complexes, etc., que l'on peut trouver dans l'eau de mer. Toutes ces substances organiques, élaborées par des organismes ou issues de leurs cadavres, passent de façon réversible de l'état dissous à l'état particulaire, du vivant au non-vivant et de l'état organique à l'état minéral, agissant les unes sur les autres, stimulant la croissance de telle espèce ou au contraire inhibant celle de telle autre, au sein de cet écheveau d'une stupéfiante complexité qu'est le cycle de la matière dans les océans.

2.3.1.2. Matières organiques

Les basses concentrations de matières organiques dans l'eau de mer rendent leur analyse chimique très compliquée. Les composés sont difficiles à isoler car dilués dans un milieu contenant beaucoup d'autres éléments à de plus fortes concentrations. Par convention, on sépare par filtration sur des filtres de 0,5µm les matières dissoutes des matières organiques particulaires.

Les matières organiques particulaires sont principalement constituées d'animaux et végétaux ou leurs résidus. Elles peuvent représenter de 10 à 60% de la matière en suspension.[5]

2.4. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer

Les principales caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer sont présentées Comme suit :

2.4.1. Salinité

La salinité est la quantité totale de résidus solides contenus (en grammes) dans 1 kg d'eau de mer, lorsque tous les carbonates sont convertis en oxydes, le brome et l'iode sont remplacés par le chlore et toutes les matières organiques sont oxydées.

Il est difficile d'estimer la salinité par analyse chimique directe (séchage et pesée des résidus solides) en raison de la présence de certaines substances, notamment des chlorures, qui s'échappent lors des étapes finales du séchage.

Nous utilisons le fait que les proportions relatives des principaux composants de l'eau de mer sont pratiquement constantes. Ainsi, la dose de l'un pourrait donner le contenu de tous les autres avec la salinité. Les ions chlore, brome et iode peuvent être déterminés facilement et avec précision par titrage au nitrate d'argent. [6]

2.4.1.1. Mesure de la salinité

La salinité est difficilement estimable (elle n'est pas à proprement parler mesurable puisqu'il n'y a pas d'étalon auquel on puisse comparer un échantillon) par analyse chimique directe, c'est-à-dire par séchage, à température élevée, et pesée du résidu solide, car certains composés présents comme les ions carbonate s'évaporent en fin de séchage. Sachant que les proportions des constituants principaux de l'eau de mer sont quasiment constantes, le seul dosage de l'un d'entre eux permet de déduire la teneur de tous les autres, et une évaluation de la salinité.

Les ions ; chlorure, bromure et iode sont facilement dosables, par exemple par précipitation permettant un titrage au nitrate d'argent. Ils suffisent aux analyses. Ceci ne vaut pas pour les zones situées à proximité des pôles ou des estuaires, en aval d'usines de dessalement, de sources marines d'eau douce ou de remontées d'eaux salines d'origine volcanique parce que la proportion des différents ions y est modifiée par rapport à celle de l'eau de mer « normale ».

Depuis 1978, la salinité est formellement mesurée par la conductivité de l'eau à une certaine température et pression. La salinité (S) d'un échantillon d'eau est donnée par le rapport de la conductivité K de cet échantillon d'eau de mer à 15°C et pression atmosphérique normale à la conductivité d'une solution de chlorure de potassium (KCl), où à la même température et pression, KCl Le score de qualité de 0,0324356. Si ce rapport K est

égal à 1, la salinité est dite 35. La salinité n'est plus exprimée en rapport massique. Il n'a pas d'unités, comme le pH, mais a toujours une salinité exprimée en ‰, g/kg ou PSU (Practical Salinity Units).

Il existe plusieurs façons de mesurer la salinité. Un exemple est la réfraction. Il s'agit d'utiliser un appareil pour mesurer l'indice de réfraction de gouttelettes d'eau posées sur du verre.

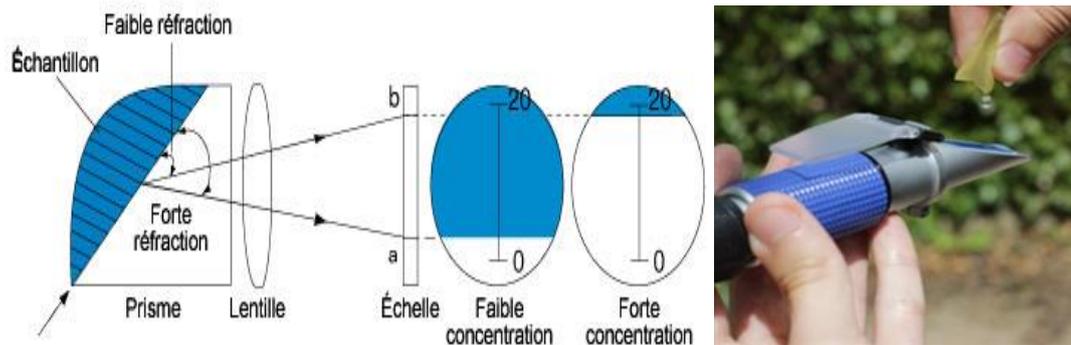


Figure 1.1 : Le réfractomètre.

La salinité de mer provient de l'action des eaux de ruissellement et des eaux souterraines sur la croûte continentale. Les ions (Na^+ , Cl^- , ...) apportés par les rivières se concentrent dans l'eau de mer car ces éléments sont peu réactifs avec les particules et les minéraux marins. La salinité de l'océan ne varie presque plus avec le temps car les apports (ruissellement) et les départs (sédimentation et altération) de sels s'équilibrent.

Il y a une autre source de salinité des eaux souterraines qui représente un problème actuel : c'est l'intrusion marine, c'est-à-dire le retour des eaux de mer vers les nappes qui se trouvent sur le littoral après l'abaissement de niveaux de ces nappes causé par la surexploitation. [7]

2.4.2. Densité

La densité est le paramètre fondamental pour l'étude dynamique des océans. De faibles variations horizontales de densité (causées par exemple par des différences de rayonnement solaire) peuvent produire des courants importants.

En toute rigueur **densité = (masse 1m^3 d'eau de mer) / (masse 1m^3 d'eau distillée)** (pas d'unité)

En océanographie, on lui donne une autre définition : pour des raisons pratiques on nomme densité la masse volumique (en kg/m^3) - 1000. Elle est mesurée par le densimètre ou hydromètre à flotteur. Il en existe deux types :

L'hydromètre à aiguille

Présente l'avantage d'être bon marché et facile à utiliser mais a la mauvaise réputation d'être peu précis à cause des frottements des paliers de l'aiguille notamment en raison des concrétions de sel dont ils peuvent faire l'objet. Il comporte souvent une échelle de densité (Specific Gravity) et en **ppt** à une température donnée.

L'hydromètre flottant

Consiste en un cylindre creux, lesté et gradué, qui s'enfonce plus ou moins dans le liquide à mesurer selon sa densité.

Il comporte aussi parfois un thermomètre comme sur l'image ci-contre

On lit directement la densité du liquide dans lequel il est plongé sur la graduation présente à la surface libre, valable uniquement à la température généralement t indiquée sur l'appareil.

Il faut lire l'échelle au niveau de la surface de l'eau, et pas au niveau du ménisque qui peut monter ou descendre sur le tube en verre. [7]

2.4.3. Solubilité

La solubilité d'un composé ionique ou moléculaire appelé soluté est la quantité molaire maximale de ce composé qui peut être dissoute ou dissociée dans un litre de solvant à une température donnée. La solution ainsi obtenue est saturée.

- Les sels de Sodium Cl , SO_4 , NO_3 sont très bien solubles.
- Les Nitrates Na , Ca , Mg , K , Ba et Sr sont très bien solubles.
- Les sels de Calcium et Strontium SO_4 , CO_3 , et du Fortuite solubilité très limitée.
- Les carbonates ont aussi une solubilité très limitée pour les Ca , Mg , K , Sr .
- Les sels ayant une solubilité basse peuvent causer l'entartrage dans les stations d'osmose inverse provoquée par la précipitation. [8]

Tab 1.2: Solubilités des sels dans l'eau pure (18°C) en g/l.

Elément	Na	Ca	Mg	K	Ba	Sr
Cl	360	730	560	330	370	510
SO₄	170	2	350	0,002	0,002	0,11
NO₃	840	1220	740	90	90	70
CO₃	190	0,013	1	0,02	0,02	0,011
F	45	0,013	0,076	1,6	1,6	0,1

2.4.4. Température :

Selon la latitude, l'eau de mer est généralement plus ou moins froide. Chaud à l'équateur (26°C à la surface de l'océan, plus de 30°C à l'intérieur en été) et froid à la surface polaire (1 à 3°C). L'océan Indien à la même latitude est plus chaud que l'océan Atlantique. Dans la même zone maritime et la même latitude, la température est différente.

Dans l'hémisphère sud, c'est l'inverse qui est vrai : le côté ouest du continent est plus froid que le côté est. Selon la profondeur, la différence de température est également importante.

La couche superficielle de l'océan peut être chauffée ou refroidie par l'air ambiant.

Dans les régions polaires, l'Antarctique a des températures de l'eau inférieures à celles du pôle Nord.

Les échanges thermiques entre la surface de l'eau de mer et l'atmosphère sont très importants : le climat est influencé par la température de l'eau de mer. Les océans se réchauffent moins vite et se refroidissent moins vite également que la terre. Pour cette raison, les régions qui bordent l'océan jouissent d'un climat océanique, plus tempéré (doux et humide). [7]

2.4.5. pH

L'eau de mer a un pH d'environ 8,2, bien qu'il puisse varier entre 7,5 et 8,5 en fonction de sa salinité locale. Le pH augmente avec la salinité jusqu'à ce que l'eau atteigne la

saturation en carbonate de calcium (CaCO_3).

Le changement de la valeur du pH a une certaine similitude avec le changement de l'oxygène dissous. Cela peut s'expliquer en considérant les activités de synthèse de certains organismes : la forte production d'oxygène s'accompagne d'une diminution de la teneur en CO_2 , ce qui entraîne une augmentation du pH ; l'oxydation de la matière organique réduit la teneur en oxygène de l'eau en produisant du carbone dioxyde, abaissant ainsi le pH.

Dans certaines conditions, le pH peut avoir des valeurs spécifiques. Surtout dans les piscines isolées où H_2S peut être généré. Le pH peut approcher 7 ou chuter à des valeurs plus acides. [7]

2.4.6. La dureté:

La dureté totale d'une eau, encore appelée TH (titre hydrotimétrique), représente sa teneur en ions calcium et magnésium Ca^{2+} et Mg^{2+} .

La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de CaCO_3 par litre.

Dans l'eau, sont déterminées :

- La dureté totale ou titre hydrotimétrique TH qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne.
- La dureté calcique qui correspond à la teneur globale en sels de calcium.
- La dureté magnésienne qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium.
- La dureté carbonatée correspond à la teneur en hydrogénocarbonate et carbonate de calcium et de magnésium. [9]

2.4.7. Conductivité électrique

La conductivité mesure la facilité avec laquelle l'électricité circule dans l'eau. Tout comme le métal, l'eau peut conduire (transporter) l'électricité. Ceci est en raison du fait qu'il y a des sels dissous dans l'eau. Si vous avez de l'eau pure sans sels, la conductivité sera nulle.

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.

La conductivité dans les lacs et les cours d'eau varie généralement entre 0 et 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, tandis que dans les grands fleuves, la conductivité peut atteindre 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Une conductivité très élevée. [9]

2.4.8. Matières en suspension

Les matières en suspension (MES) sont toutes les particules solides minérales et/ou organiques présentes dans les eaux naturelles ou polluées. Ils indiquent la présence de particules supérieures à 0,45 μm dans la colonne d'eau. Cette matière organique particulière se compose de limon, de détritiques, de fumier d'animaux d'élevage ou d'aliments décomposés.

La présence de matières en suspension et organiques peut affecter la qualité de l'eau.

Les matières en suspension dans l'eau de mer peuvent être de la neige de mer composée de flocons et de particules de matière organique colloïdale. Voir aussi Matière organique particulière, Matière organique dans le sol, Matière organique dissoute (DOM), Matière dissoute et Matière inorganique. [10]

2.5. Paramètres organoleptiques

Les différents paramètres organoleptiques de l'eau de mer sont :

2.5.1. Couleur

Pour l'eau potable, le degré de couleur maximale acceptable est de 15 UCV. Elle peut être due à certaines impuretés minérales (fer) mais également à certaines matières organiques acides. Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire. [11]

2.5.2. Goûts et odeurs

L'eau potable doit avoir un goût et une odeur agréables. La plupart des eaux, traitées ou non, dégagent une odeur plus ou moins détectable et ont une certaine saveur. Ces deux propriétés, purement sensorielles, sont très subjectives et il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Selon les physiologistes, il n'y a que quatre goûts de base : le salé, le sucré, l'acide et l'amer. [12]

2.5.3. Turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales: argiles, limons, grains de silice, matières organiques, la pluviométrie joue un rôle important vis-à-vis de ce paramètre dans les eaux superficielles et souterraines selon leur origine. [13]

3. Paramètres microbiologiques

Naturellement, des micro-organismes tels que bactéries, virus, protozoaires... dont certains sont pathogènes pour l'homme peuvent exister dans l'eau.

Ainsi, le risque microbien vient de la virulence de ces bactéries, selon la nature des agents infectieux, qui sont carrément nocifs, comme le choléra, la dysenterie bacillaire ou encore la typhoïde et la paratyphoïde.

Il doit y avoir une liste bactériologique, une liste des bactéries qu'il ne faut pas trouver dans l'eau si elle doit être consommée, et même un seuil de tolérance pour ces organismes dans l'eau.

L'analyse microbiologique repose sur la recherche de bactéries considérées comme des indicateurs de contamination fécale : ces bactéries ont été choisies car elles sont abondantes dans les fèces des animaux à sang chaud, sont une source fréquente de contamination assez grave, sont facilement détectables et ne grandir dans de l'eau purifiée.

Ajout d'autres mesures telles que la recherche d'entérocoques, la recherche de spores de *Clostridium perfringens*.

Tab 1.3 : Normes de qualité microbiologiques de l'eau de boisson fixées par l'OMS. [14]

Paramètres	Valeurs guides OMS	Interprétation
Coliformes thermo tolérants	0-100 ml	Indicateurs de pollution fécale
Streptocoques fécaux	Pas de normes	Indicateurs de pollution fécale
Coliformes totaux	0-100 ml dans 95% des échantillons d'eaux traitées	Indicateurs d'efficacité du traitement (désinfection) ; ne signalent pas nécessairement une pollution fécale

Tab.1.4 : Principales maladies d'origine hydrique et agents microbiologique responsable

Origin	Maladies	Agentspathogens
Parasitaire	Dysenterieamibienne	Gastro-entérites
	Gastro-entérites	Giardialamblia Cryptosporidiumparvum
Bactérienne	Fievrestyphoideetp aratyphoide	Salmonella typhiSalmonellaparatyphiA et B
	Dysenteriebacillaire	Shigella
	Cholera	Vibriocholera
	Gastro-entérites	Escherichia colienterotoxinogeneCampyloba cterjejuni Yersinaenterocolitica
Virale	HépatitesAetE	VirushépatiteAetE
	Poliomyélite	Viruspoliomyélitique
	Gastro-entérites	Rota virusEntéroviru Calicivirus Adenovirus...

4. Les eaux saumâtres

4.1. Définition

Une eau saumâtre est une eau légèrement à moyennement salée. Sa teneur en sel est comprise entre 1 et 10 g/l, contre 35 g/l en moyenne pour l'eau de mer. 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. [10]

4.2. Salinité des eaux saumâtres

L'eau saumâtre est typique des estuaires de la planète et résulte du mélange de l'eau de pluie, généralement recueillie dans chaque rivière correspondante, avec de l'eau de mer. Plus important encore, sa contribution dans les grands fleuves tropicaux, tels que le Mékong, le Congo ou l'Amazonie, se trouve en pleine mer, non loin de l'embouchure de tels fleuves. On trouve également de l'eau saumâtre avec du sel d'origine fossile dans les espaces intérieurs, dans certains aquifères associés aux roches salées, dans les puits.

Il y a des mers saumâtres comme la mer Baltique et la mer Noire.

La composition chimique des eaux saumâtres varie énormément d'une région à l'autre et pour une même région d'une saison à l'autre. Ces variations de composition chimique dépendent de plusieurs paramètres : l'eau qui pénètre dans le sol dissout les sels qui composent l'écorce terrestre.

Les principaux sels qui peuvent être dissous en assez grandes quantités sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le NaCl . Indépendamment de la composition chimique et de la structure physique des roches, d'autres facteurs interviennent également parmi lesquels nous citerons :

- La vitesse de circulation de l'eau et par conséquent le temps de contact.
- Les matières déjà dissoutes (la solubilité variant avec la force ionique) : ainsi des eaux chlorurées et gypseuses peuvent contenir en solution des quantités de sulfate de calcium supérieures à la solubilité du sulfate de calcium dans l'eau pure.

Le phénomène d'évaporation (évaporation directe ou évapotranspiration), paramètre principalement lié aux conditions climatiques mais aussi à la profondeur du niveau piézométrique des nappes souterraines (influence des irrigations). [16]

5. Méthodes d'analyse les eaux de mer et saumâtres

5.1. Méthode AOX SPE : Analyse des AOX dans les eaux de mers et salines

Analyse des composés organo-halogénés après purification SPE (extraction en phase solide) selon Annexe A de NF EN ISO9562.

La norme (NF EN ISO 9562) est appliquée pour les eaux ayant moins de 1g/L de chlore. Au-delà de cette concentration, l'ion chlorure entraîne un biais positif, il est nécessaire de réaliser une dilution.

L'extraction SPE permet d'éliminer l'interférence en chlorure (ou en sel) et éviter la dilution qui va diminuer la précision analytique (augmentation de la limite de quantification).

Nous pouvons ainsi analyser les échantillons chargés en chlorure ayant une faible teneur en AOX[17].

5.2. DCO Michel (Méthode IFREMER) : Analyse DCO dans les eaux de mers et salines

DCO (Demande Chimique en Oxygène) Michel (Méthode IFREMER)

La méthode DCO (NFT 90101) ou STDCO (ISO 15705) est applicable jusque à des teneurs en chlorure de l'ordre de 1500 mg/L (une eau de mer possède une concentration en chlorure de l'ordre de 19000 mg/L). Pour cela, nous utilisons la méthode alternative DCO Michel, qui va décrire l'utilisation des réactifs dont la concentration est adaptée pour éliminer les interférences liées aux chlorures.

La méthode alternative DCO Michel est donc particulièrement adaptée pour les échantillons d'eaux de mer ou salines.

5.3. Méthode ICP-MS : Analyse des métaux dans les eaux de mer et salines

La présence importante de sels dans un échantillon interfère avec le plasma et nécessite de réaliser une dilution pour limiter cette interférence.

Une méthode de type ICP-AES ne permet pas d'obtenir des limites de quantification suffisamment basse. Cette méthode est pour garder une limite de quantification faible même dans les eaux salines et de mer. [17]

5.4. Méthode colorimétrique avec réactif au vanadium : Analyse des nitrates et nitrites dans les eaux de mers et salines

L'ion chlorure peut créer des interférences lors de l'analyse des nitrates et nitrites en colorimétrie automatisée ;

L'utilisation d'un réactif au vanadium couplé à notre colorimètre automatisé Aquakem permet de limiter les interférences et d'obtenir des limites de quantification plus faibles, adaptée aux exigences de qualité des eaux de mer.

La méthode colorimétrique automatisée avec réactif au vanadium permet de doser les nitrates et les nitrites dans les eaux marines et eaux salines avec une limite de quantification de l'ordre de 0.10 mg/L pour les nitrates et 0.005mg/L pour les nitrites.

Cette méthode permet d'analyser des nitrates et nitrites dans les eaux de mer et saline avec une limite de quantification faible. [17]



Figure 1.2 : Colorimétrie automatisée Aquakem.

6. Les normes de potabilité de l'eau

L'eau potable est une eau consommable sans risque pour la santé. Pour encadrer cette définition de l'eau potable, des normes strictes existent. Elles fixent les teneurs limites qu'une eau potable ne doit pas dépasser. Ces limites concernent des substances considérées comme nocives pour la santé à certaines doses. Si elle peut être bue par tous, une eau potable n'est cependant pas pour autant totalement exempte d'éléments polluants. Cela signifie que leur concentration est assez faible pour préserver la santé des consommateurs. Ces normes sont différentes selon la législation des pays. Le tableau ci-dessous présente les normes définies par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) concernant la salinité totale et les différents sels présents dans l'eau :

Tab 1.5 : Norme de potabilité décrite par l'OMS sur les sels [18].

Paramètres	Normes
Turbidité (NTU)	<1
pH	6,5 _ 9.5
Dureté totale (mg.l ⁻¹ CaCO ₃)	200
Calcium (mg.l ⁻¹)	-XXXX
Magnésium (mg.l ⁻¹)	0,4
Sodium (mg.l ⁻¹)	200
Chlore (mg.l ⁻¹)	250
Aluminium (mg.l ⁻¹)	0,2
Fer (mg.l ⁻¹)	0,3
Cuivre (mg.l ⁻¹)	1,0
Zinc (mg.l ⁻¹)	3,0
Manganèse (mg.l ⁻¹)	0,1
chlorite résiduel (mg.l ⁻¹)	0,6-1,0
Sulfates (mg.l ⁻¹)	250
Bore (mg.l ⁻¹)	0,5

Les normes définies par l'Algérie concernant la salinité totale et les différents sels présents dans l'eau.

Tab 1.6 : Norme de potabilité définie par l'Algérie sur les sels.

Paramètres	Normes
Turbidité(NTU)	1-2
pH	6,5-8.5
Conductivité($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$)	2800 à25°C
Dureté totale ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{CaCO}_3$)	200
Calcium($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	75-200
Magnésium($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0,4
Sodium($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	200
Chlore($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	200-500
Aluminium($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0,2
Fer($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0,3
Cuivre($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0,05-1,5
Zinc($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	1-5
Manganèse($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0,5
Chloriterésiduel($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	-
Sulfates($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	200-400
Bore ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0,3

7. Conclusion

La consommation en eau est toujours à augmenter pendant les dernières années ; Pour cela, le choix de réaliser des stations de dessalement de l'eau de mer est considéré comme une solution pour éviter la sécheresse répétée qu'a connu le monde pendant les dix dernières années et pour satisfaire l'alimentation de l'eau de villes surpeuplées.

CHAPITRE 2

DIFFERENTS PROCEDES DE DESSALEMENT

1. Introduction

L'eau est abondante sur Terre, elle représente 1,38 milliard de Km³. Cependant, la majeure partie est constituée d'eau de mer (97,2%) et de glace (2,15%) qui ne peuvent pas être utilisées directement. L'accès facile à l'eau douce (lacs, rivières, certaines eaux souterraines) ne représente que 0,07 % de la ressource totale, soit environ 1 million de Km³. Mais la répartition de cette eau est très inégale. En fait, 10 pays se partagent 60 % de leurs réserves d'eau douce, tandis que les 29 autres pays (principalement en Afrique et au Moyen-Orient), en revanche, font face à des pénuries chroniques d'eau douce.

Dans ces pays, 250 millions de personnes n'ont pas actuellement une consommation d'eau minimale de 1 000 mètres cubes par habitant et par an, selon l'Institut de l'eau. 400 millions de personnes vivent en situation de stress hydrique, estimé entre 1000 et 2000 m³ par habitant et par an. 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.

En réponse à cette pénurie d'eau déclarée, de nouvelles technologies de production d'eau potable doivent être adoptées pour répondre aux demandes d'une population croissante. L'une des technologies prometteuses pour certains pays est le dessalement de l'eau de mer ou saumâtre. La technologie de dessalement fonctionne depuis de nombreuses années. Mais leur coût (de 1 à 2 EUR/m³) limite généralement leur utilisation dans les pays riches. Cependant, ces dernières années, la capacité des usines de dessalement a considérablement augmenté et le coût de production par mètre cube a chuté de façon spectaculaire.

2. Dessalement

2.1. Définition

Le Dessalement est l'élimination des sels dissous de l'eau de mer, des eaux souterraines minérales ou des eaux usées locales, car ce processus rend l'eau inutilisable adaptée à la consommation humaine, à l'irrigation, aux applications industrielles et à de nombreuses autres fins.

Ce qui nécessite la présence d'une membrane osmotique et d'une force motrice, ainsi que de l'énergie électrique ; où la pression osmotique est inversée et surmontée ; Pour faire passer l'eau des zones de concentration plus élevée vers des zones de concentration plus faible. [19]

2.2. Les principes de Dessalement

2.2.1. Captation de l'eau de mer

Consiste à pomper l'eau de mer vers la station de Dessalement, cette eau doit être bonne du point de vue matières en suspension. Deux types de technologies sont utilisés dans cette étape :

➤ Prise d'eau de mer de surface fixe :

Les grilles de prise d'eau se trouvent à l'extrémité de la tuyauterie, à environ 1-2 m en-dessous du niveau de la mer.

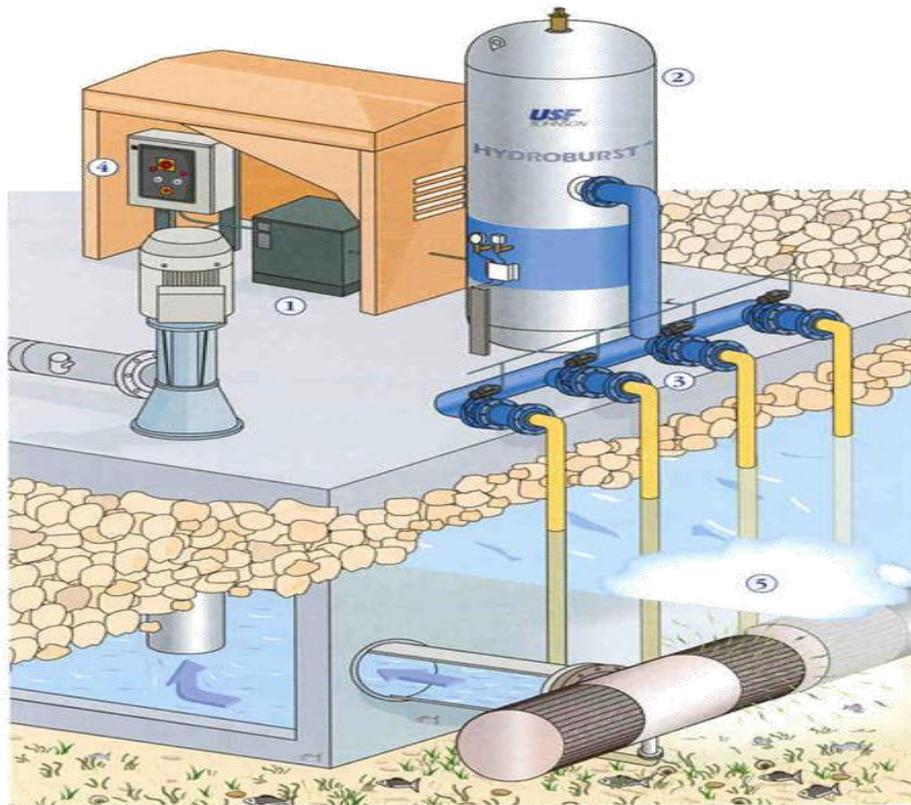


Figure 2.1 : Les grilles de prise d'eau.

➤ Puits côtier

Les puits côtier sont recommandés lorsque la qualité de l'eau de mer varie suivant les saisons et/ou lorsqu'il est possible d'avoir des pics élevés de turbidité.

Un puits côtier vertical peut tirer jusqu'à 200 m³/h.

Un puits radial peut prendre jusqu'à 1000 m³/h, en fonction des couches du sol.[20]

2.2.2. Le prétraitement :

C'est la deuxième étape du processus de dessalement dont le but est d'éliminer les différents colmatages qui peut causer la détérioration des pompes, l'incrustation, l'encrassement et la dégradation des membranes d'osmose inverse par les microorganismes.

. Les différents colmatages possibles sont :

Tab 2.1 : Les différents colmatages possibles.

Colmatage	Cause	Prétraitement approprié
Biologique	Bactéries, micro-organismes, virus, protozoaires	Chloration
Particulaire	sable, argile (turbidité, solides en suspension)	Filtration
Colloïdal	Complexes organiques et inorganiques, particules colloïdales, micro-algues	Coagulation + Filtration Optionnel : Floculation/décantation
Organique	Matière Organique (MO) : acides humiques et flaviques, bio polymères	Coagulation + Filtration + Adsorption sur charbon actif Coagulation+ Ultrafiltration
Minéral	Calcium, Magnésium, Baryum ou Strontium, sulfates et carbonates	Anticalcaire Acidification
Oxydant	Chlore, Ozone, KMnO ₄	(méta-bisulfite de soude Charbon Actif en Granulés

2.2.2.1. Procédés typiques de prétraitement du dessalement d'eau de mer

Une manière très économique d'empêcher le colmatage biologique est la chloration d'eau de mer. Malheureusement, le chlore oxyde le matériau de la membrane et c'est pour cela que seulement 0.02 mg/L peut être toléré.

Un procédé standard de décoloration est l'injection de bisulfite de soude ou Meta bisulfite, qui agit comme un désactivant pour le chlore. Une autre solution est l'utilisation de charbon actif en granulés.

MO, particules et colloïdes peuvent être enlevés par un traitement conventionnel, à savoir une coagulation suivie d'une filtration sur média pour une eau peu trouble. Des étapes additionnelles comme la floculation et la décantation sont ajoutées dans le cas d'eaux très troubles provenant d'eaux peu profondes.

Le traitement non conventionnel pour les MO, particules et colloïdes est l'ultrafiltration.

Un anticalcaire devrait être ajouté avant le passage dans les membranes pour disperser les carbonates de calcium et les précipités de sulfate afin d'éviter l'entartrage.

Une filtration fine (5 micron) est requise juste avant le passage au travers des membranes d'osmose inverse afin d'éviter que des débris ou des particules de sable viennent endommager les membranes. [21]

2.3. Les procédés de dessalement

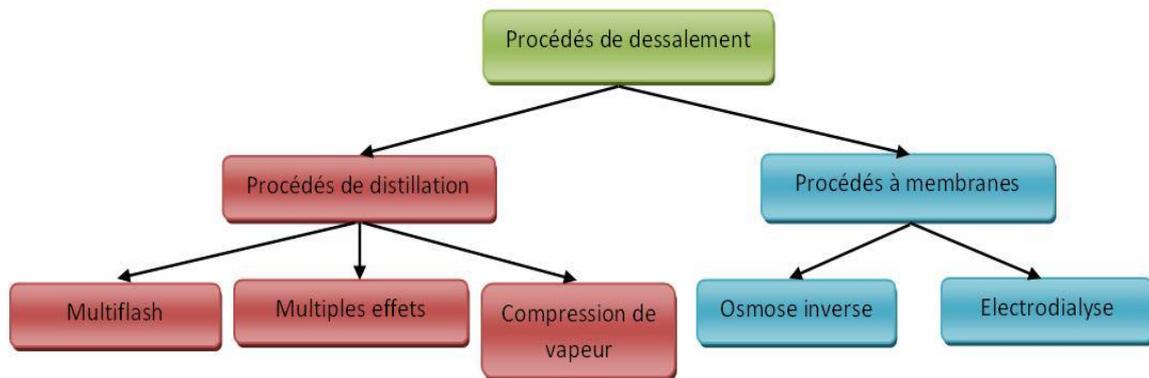


Figure 2.2 : différents procédés de dessalement.

2.3.1. Procédés membranaires

Les membranes ont les capacités de différencier et séparer sélectivement les sels et l'eau. En utilisant ces capacités mais différemment dans chaque cas, deux procédés de dessalement à membrane ont été développés et sont actuellement disponibles au marché : l'électrodialyse(ED) et l'osmose inverse(OI). [22]

2.3.1.1. 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.[23]

➤ 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.2.3). 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.

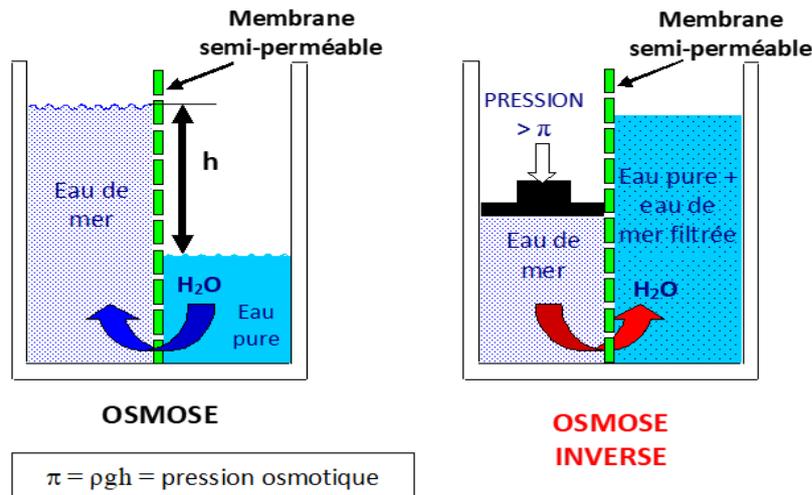


Figure 2.3 : osmose et osmose inverse.

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, 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'tHoff :

$$\pi = i \times C \times R \times T, \text{ où :}$$

- i est le nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte,
- C est la concentration en sels en $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$
- R est la constante des gaz parfaits $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- T est la température absolue de la solution en Kelvin.[24]

➤ **Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse**

Les éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse sont schématisés sur la figure suivante :

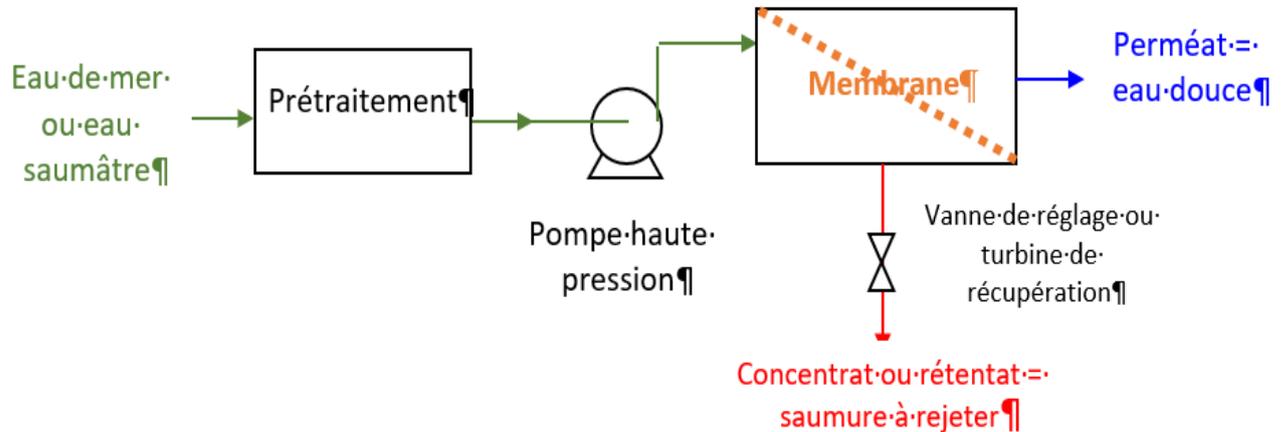


Figure 2.4 : Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse.

Le dessalement par osmose inverse nécessite d'abord un pré-traitement 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 rétentat 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 rétentat une turbine qui permet de récupérer une partie de l'énergie contenue dans ce fluide sous haute pression. [24]

2.3.1.2. L'électrodialyse

L'électrodialyse est un procédé électrochimique qui permet d'extraire les ions contenus dans une solution.

Leur principe est bien connu. Les ions d'un sel dissous dans l'eau, comme le chlorure de sodium par exemple, déplacent sous l'action d'un champ électrique créé par deux électrodes trempant dans le liquide.

Les ions positifs, ou cations (par 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 perméables 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. [21]

➤ Application au dessalement

L'électrodialyse est utilisée pour le dessalement d'eau de mer. Sur le schéma ci-dessous vous est présenté le fonctionnement d'une unité en parallèle de dessalement. En fin de chaîne de traitement l'on récupère à la fois de l'eau douce et du saumure. [21]

➤ **Principe de fonctionnement**

Sous l'effet d'un courant appliqué dans les bacs externes les ions Na^+ sont attirés vers l'électrode négative et les ions Cl^- vers l'électrode positive. En raison de la sélectivité des membranes ; c'est à dire les ions Na^+ peuvent uniquement traverser les membranes cathodiques et les ions Cl^- les membranes anioniques, on obtient de l'eau douce dans deux des quatre compartiments.

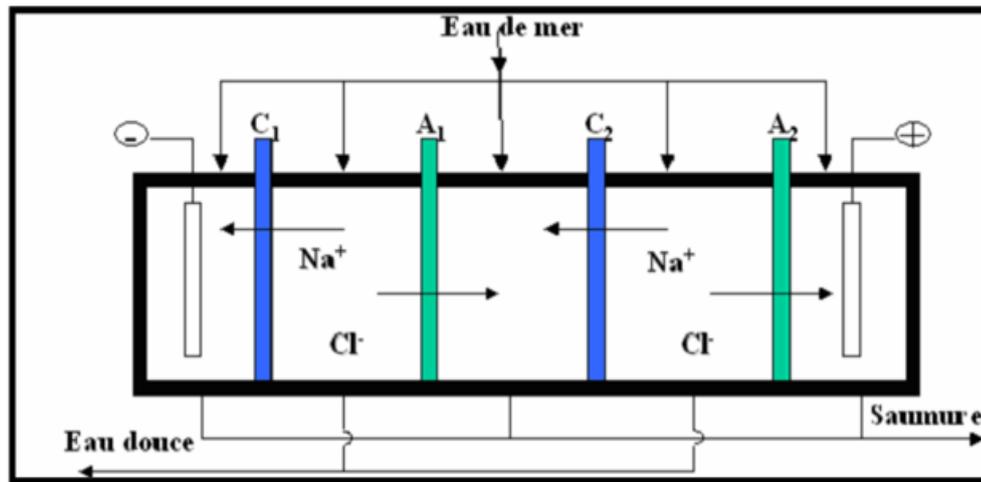


Figure 2.5 : Principe de fonctionnement de l'électrodialyse.

La membrane cationique est en polystyrène sulfoné, tandis que la membrane anionique est en polystyrène avec des sels d'ammonium quaternaire.

Un prétraitement avant l'électrodialyse est parfois nécessaire. Les solides en suspension de plus de 10 mm de diamètre doivent être éliminés, sinon ils pourraient obstruer les pores de la membrane. Il existe également des substances capables de neutraliser la membrane, comme les gros anions organiques, les colloïdes, les oxydes de fer et de manganèse. Ils interfèrent avec l'action sélective de la membrane.[21]

Les méthodes de prétraitement qui aident à prévenir ces effets sont la filtration au charbon actif (pour la matière organique), la floculation (pour les colloïdes) et diverses techniques de filtration. [21]

2.3.2. Le procédé de distillation

2.3.2.1. Définition

La distillation est définie comme un processus dans lequel l'eau brute est évaporée et condensée en eau douce, ce qui est un processus très énergivore ; Par conséquent, il est utilisé au Moyen-Orient où le pétrole est disponible. Le processus de dessalement thermique nécessite des températures élevées, mais l'utilisation de la chaleur provenant de processus industriels ou d'autres centrales de cogénération peut réduire les coûts.

2.3.2.2. Méthodes de distillation

➤ Distillation à simple effet

Elle reproduit en milieu industriel le processus naturel de dessalement. Et s'agit de chauffer l'eau de mer pour en vaporiser une partie. La vapeur ainsi produite ne contient des sels, et suffit alors de refaire passer cette vapeur à l'état liquide en la refroidissant pour obtenir de l'eau potable.

L'inconvénient majeur de ce procédé est leur consommation énergétique importante liée à la chaleur latente de vaporisation de l'eau. [23]

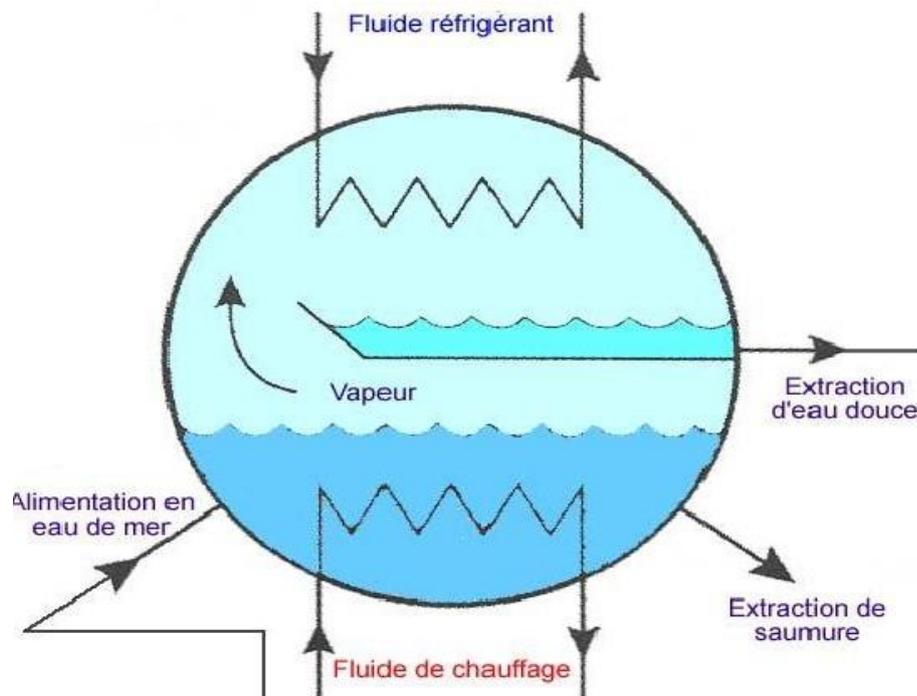


Figure 2.6 : Principe de distillation à simple effet.

➤ **Distillation à multiples effets**

La distillation à multiples effets est la mise en série de plusieurs évaporateurs simple effet. Afin d'améliorer la consommation d'énergie thermique nécessaire pour l'évaporation de l'eau, la chaleur de condensation de la vapeur produite dans le premier évaporateur est utilisée dans le deuxième évaporateur qui fonctionne à température et pression plus faibles et ainsi de suite.

Deux types d'évaporateurs à multiples effets sont industrialisés : les évaporateurs à longs tubes verticaux et les évaporateurs à tubes horizontaux arrosés. Actuellement, ce dernier procédé revient en force sur le marché car son coût d'investissement est de 10 à 20% plus faible que pour la distillation multiflash présentée dans le prochain point. De plus, sa consommation énergétique est également plus faible.

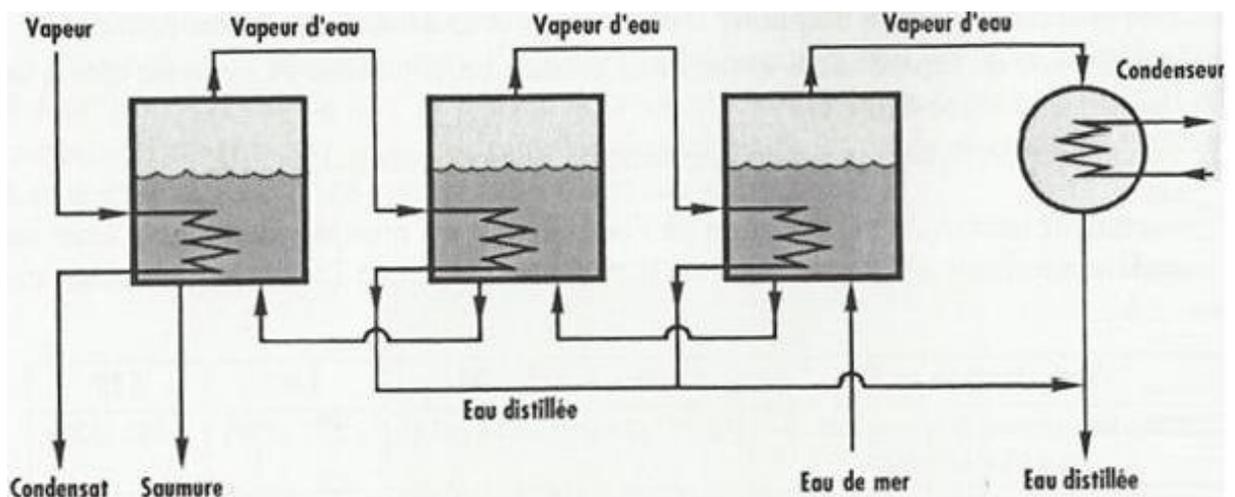


Figure 2.7 : Principe de Distillation à multiples effets.

➤ **Distillation multi-flash :**

L'eau de mer est chauffée à 120°C dans des conduits. Elle est ensuite envoyée dans un container à faible pression. L'eau est alors immédiatement transformée en vapeur selon le nom Flash. La vapeur résultante va entrer au contact des premiers conduits dans lesquels passe l'eau de mer. Ces conduits, froids, vont alors provoquer la condensation de cette vapeur qui est alors récupérée à l'état aqueux. L'eau qui ne se sera pas évaporée dans ce container, sera récupérée puis transférée dans un deuxième compartiment du même type ayant une pression atmosphérique moindre par rapport au premier. L'opération est alors

répétée plusieurs fois de suite d'où le nom de multi-flash. Enfin, ce qui reste dans les conduits sont les saumures : une solution aqueuse contenant un sel, généralement de chlorure de sodium (sel de cuisine) NaCl.

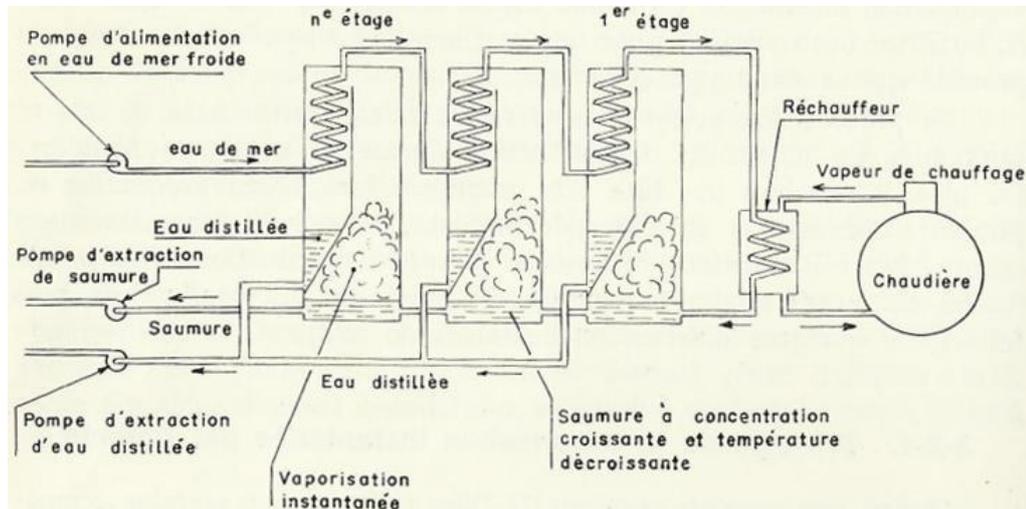


Figure 2.8 : Principe de distillation multi flash.

➤ **Distillation par compression de vapeur (MVC et MED-TVC) :**

Le principe de ce procédé réside dans le fait que lorsque la vapeur est comprimée, sa température et sa pression augmentent alors que son volume diminue.

La compression de vapeur peut s'appliquer dans le cas de la distillation à simple effet (MVC) ou à multiples effets (MED-TVC). Cette technique permet de limiter la consommation en énergie thermique.

L'eau de mer est chauffée jusqu'à évaporation dans une enceinte thermique isolée. La vapeur d'eau récupérée se condense en se refroidissant. La vapeur produite dans le dernier effet dans le cas de la distillation à multiples effets par compression de vapeur (MED-TVC) ou dans l'effet unique dans le cas de la distillation à simple effet par compression de vapeur (MVC) est aspirée par un compresseur. Ce dernier augmente la température et la pression de la vapeur.

Cette vapeur haute pression est ensuite envoyée vers la partie basse de l'enceinte où elle se refroidit. En se condensant, la vapeur haute pression se transforme en eau douce.[25]

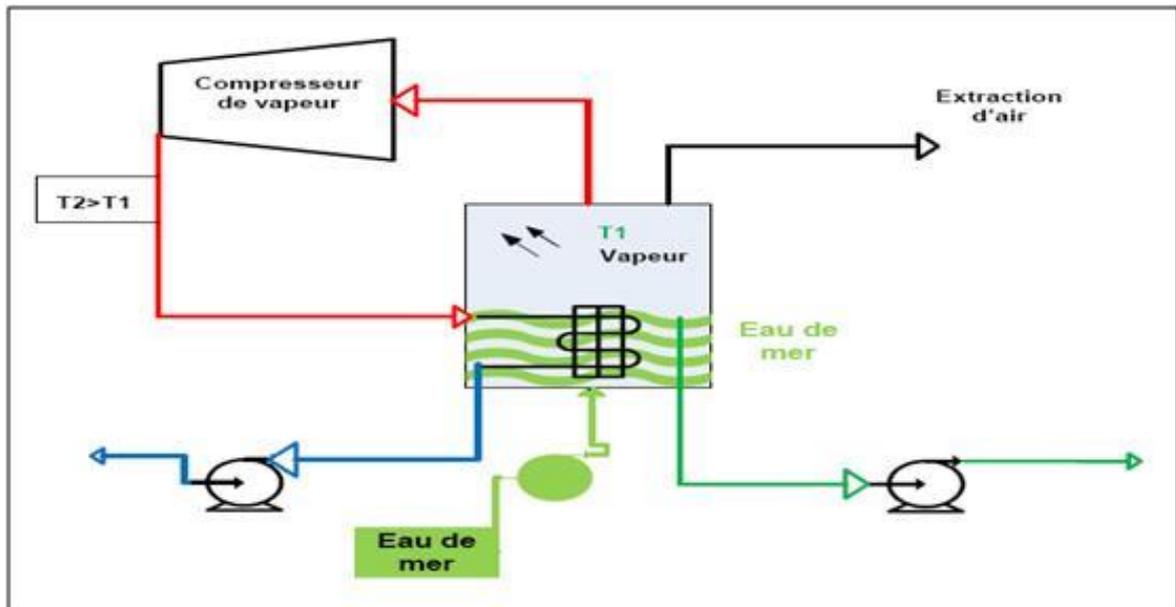


Figure 2.9 : Principe de Distillation par compression de vapeur.

2.4. Les problèmes techniques rencontrés en dessalement

2.4.1. Entartrage

L'entartrage est un dépôt de sels minéraux qui a tendance à se former sur les surfaces d'échanges. En raison de la présence d'ions (calcium, magnésium, bicarbonate et sulfate) dans la saumure.

Ces dépôts sont principalement composés de carbonate de calcium (CaCO_3), d'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) et de sulfate de calcium (CaSO_4).

Par la diversité de leurs origines, les dépôts de tartre ont des conséquences considérables sur le fonctionnement des installations de dessalement :

- Réduction de la section de passage.
- Dégradation des états de surface.
- Par leur très forte adhérence, les tartres mènent à une constance de débit.
- Augmentation des pertes de charge pour un débit constant.
- Obturation des conduites du fait de la diminution de son diamètre par les dépôts de tartre. [9]

2.4.2. Corrosion

La corrosion est la dégradation d'une substance, en particulier un métal ou un alliage, provoquée par l'action chimique d'un liquide ou d'un gaz sur la substance. Le terme corrosion s'applique plus particulièrement à l'action graduelle d'agents naturels, tels que l'air ou l'eau salée sur les métaux.

Les principales conséquences de la corrosion sont :

- Rupture des conduites
- Augmentation de la rugosité
- Fuites d'eau
- Pollution de l'eau produite par des agents extérieurs[9]

2.4.3. Colmatage

Les eaux naturelles (eaux de mer ou eaux saumâtres) contiennent la plupart du temps des matières organiques en suspension qui vont avoir tendance à se déposer sur les surfaces d'échange et à les colmater. Il va en résulter une augmentation de la résistance de transfert et une diminution de la capacité de production de l'installation.

Le colmatage a comme conséquences :

- Une augmentation de la perte de charge.
- Une augmentation du passage de sels, le colmatage empêche la retro diffusion des sels rejetés par la membrane.
- Une perte de flux. [26]

2.5. Les différents impacts de dessalement de l'eau de mer sur l'environnement

En raison du manque de recherche sur le sujet, l'impact des usines de dessalement sur le milieu marin reste mal compris.

Le dessalement a des impacts environnementaux, affectant principalement le milieu marin, ainsi que la flore et la faune aquatiques, à cause des émissions (saumure) produites pendant le processus de dessalement, telles que les produits chimiques utilisés pour nettoyer les modules d'osmose inverse.

Le dessalement affecte également l'équipement de l'usine, la qualité de l'air et la lumière. [27]

2.5.1. Des procédés énergivores

Les techniques utilisées pour le dessalement de l'eau sont très consommatrices en énergie, même si la tendance est à la baisse, notamment grâce au développement de l'osmose inverse et d'autres technologies innovantes.

Or, cette énergie est le plus souvent fournie par des combustibles fossiles qui présentent pour l'environnement l'inconvénient d'émettre des polluants atmosphériques, notamment du dioxyde de carbone (CO₂), des oxydes de soufre et d'azote et des particules solides.

Il a ainsi été estimé que le système de production espagnol rejetait 680 grammes de CO₂ par mètre cube d'eau dessalée ce qui, pour une production de plusieurs millions de mètres cubes par jour se traduirait par l'émission dans l'atmosphère de plusieurs milliers de tonnes de CO₂ par jour. Cette contribution à l'effet de serre est loin d'être négligeable dans le contexte actuel de lutte contre le réchauffement climatique. [27]

2.5.2. Des impacts dépendant du lieu de prélèvement d'eau de mer

Si l'eau est prélevée dans des puits côtiers, l'impact sur les écosystèmes marins est réduit non seulement au point de prélèvement, mais également au point de rejet. Comme l'eau des puits côtiers est plus pure qu'en mer (filtration sur sable), moins de traitement chimique est nécessaire. D'autre part, l'inconvénient de cette option est qu'elle n'est pas adaptée aux grandes usines en raison du faible prélèvement d'eau de ces puits.

A l'inverse, si l'eau est captée au large, diverses perturbations de l'écosystème marin peuvent être observées, comme détaillé ci-dessous. A ces effets s'ajoutent ceux liés aux canalisations utilisées pour transporter l'eau de mer jusqu'à l'usine. [27]

2.5.3. Effets des produits chimiques

➤ Effets de la présence des métaux lourds dans le rejet

La concentration des métaux lourds et leur composition dans le rejet dépend des éléments de construction utilisés et de leur résistance à la corrosion. Les parois des échangeurs de chaleur des usines à distillation sont habituellement en alliage cuivre nickel, et les autres éléments de construction comme les cuves saumuront souvent en acier inoxydable.

Dans les usines OI, c'est aussi l'acier inoxydable qui prédomine, avec des matières plastiques pour les éléments non métalliques. L'acier inoxydable est généralement très peu corrosif, des quantités-traces de fer, nickel, chrome et molybdène étant présentes dans les rejets des usines à distillation et OI.

Les alliages d'acier inoxydable en traces ne posent que relativement peu de risque pour le milieu marin, mais le cuivre est extrêmement toxique pour la plupart des organismes marins. Des concentrations aussi faibles que 10µg/l dans l'eau de mer peuvent avoir des effets considérables, mais leur toxicité dépend généralement de la biodisponibilité et de la sensibilité des espèces.

Les concentrations de base du cuivre dans la Méditerranée sont faibles, de l'ordre de 0,04 à 0,70 µg / l au large, et inférieure à 0,01 à 50 µg / l dans les eaux côtières.

Les concentrations de cuivre dissous diminuent sous l'effet des processus chimiques et physiques dans l'eau de mer (précipitation, adsorption), mais il se produit un enrichissement de l'élément dans les matières en suspension et, finalement, dans les sédiments.

L'accumulation de cuivre constitue un risque potentiellement élevé pour les habitats des fonds meubles et les zones à faible échange d'eau, dans lesquelles les taux de sédimentation sont élevés. De nombreux invertébrés benthiques (les crustacés) s'alimentent de matières déposées ou en suspension, le risque étant que des métaux lourds viennent enrichir leurs corps et atteignent des niveaux trophiques trop élevés. [27]

➤ Effets des additifs d'Antitartre

Des agents antitartre sont ajoutés à l'eau d'alimentation dans les usines MSF et OI pour prévenir l'entartrage. Les principaux agents antitartre sont des polymères organiques

(essentiellement les polymères de l'acide acrylique et les polymères de l'acide maléique), des phosphorâtes et des poly phosphates.

Une action précoce contre l'entartrage est obtenue avec l'adjonction de phosphates polymères. L'ortho phosphate produit de l'hydrolyse des poly phosphates, est un macroélément nutritif qui stimule la productivité primaire. Dans une zone marine oligotrophe comme la mer Méditerranée, le rejet d'un macroélément nutritif peut avoir des effets drastiques tels que des efflorescences algales, des proliférations d'algues macroscopiques. L'utilisation de ces produits permet d'empêcher l'apparition d'effets eutrophisants. [27]

➤ **Effets dus aux additifs antisalissure**

La chloration est un bon auxiliaire mais un mauvais maître en ce sens qu'elle est très économique et efficace mais qu'elle n'est pas correctement maîtrisée ; elle donne naissance à des dérivés tels que des thiolméthanes qui sont soumis à réglementation en raison de leurs effets cancérigènes.

Si le chlore est un agent antisalissure à large spectre, il présente aussi des effets étendus sur le milieu marin quand il est rejeté avec la saumure. Il occasionne des effets biologiques par son action stérilisante intrinsèque et des effets chimiques en halogénant les constituants organiques de l'eau de mer.

D'autres agents antisalissure comme les sels de cuivre entraînent des rejets de cuivre dans la saumure, et ce métal, même à de très faibles concentrations (moins de 1ppm), peut avoir des incidences sur l'environnement par suite de son accumulation. [27]

2.5.4. Impact de bruit

Une usine de dessalement d'eau de mer par osmose inverse est une usine bruyante. En général ce bruit est produit par des pompes à haute pression et par les turbines utilisées pour la récupération d'énergie, le niveau de bruit est plus de 90 dB, ce qui cause des difficultés de vivre à côté d'une usine pareil. Donc, l'usine devrait être située loin des secteurs peuplés et être équipée de technologie acoustique appropriée pour réduire le niveau de bruit. [27]

2.6. Le dessalement en Algérie

Les ressources hydriques de l'Algérie restent limitées. Tout d'abord, pour des raisons climatiques : la pluviométrie, irrégulière, oscille entre 100 et 600 mm/ans seulement. L'Algérie se trouve parmi les pays du monde qui sont sous le seuil de pénurie adopté par la banque mondiale, il faut mobiliser toutes les ressources d'eau disponible pour sécuriser l'alimentation en eau potable. De ce fait, le dessalement des eaux de mer est la solution adéquate de cette problématique. [28]

Le littoral de l'Algérie compte 21 stations de dessalement d'eau de mer réparties sur les 14 wilayas côtières et 2 autres en construction, 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.

L'Algérie déploie un programme de dessalement et de traitement des eaux usées. L'évaporation des eaux de surface va accélérer la raréfaction de l'eau potable. Le dessalement est essentiel, d'autant plus que les prévisions du Centre de recherche sur le dessalement du Moyen-Orient suggèrent que l'Algérie devrait être classée derrière l'Arabie saoudite, les Émirats arabes unis et les États-Unis en termes de capacité à utiliser l'eau de mer pour produire de l'eau potable.

Conclusion

La proportion d'eau salée sur terre étant proche de 98 %, l'on peut penser que le dessalement constitue une alternative prometteuse pour les Etats confrontés à un tarissement de leurs ressources en eau douce. En effet, la surexploitation des nappes phréatiques et des aquifères ou le climat dans certaines régions du globe, incitent les pays concernés à recourir au dessalement de l'eau de mer pour subvenir à leurs besoins vitaux en eau potable. Les techniques actuelles sont cependant onéreuses car très consommatrices en énergie.

Les avancées en matière de recherche pour le dessalement ont permis ces dernières années de diminuer sensiblement les coûts de production, avec pour objectif d'optimiser la rentabilité. Ceci pourrait permettre, à moyen terme, d'en ouvrir l'accès aux Etats les plus pauvres.

Toutefois, les rejets de saumure, l'émission de gaz à effet de serre et la consommation énergétique liée au dessalement en ternissent le bilan écologique et dégradent les écosystèmes naturels.

Les nombreux projets en cours axés sur le dessalement raisonné et l'émergence de nouveaux procédés hybrides constituent des avancées encourageantes quant au devenir de ces technologies.

Tab 2.2 : Les différentes stations de dessalement en Algérie [29].

Wilaya	Stations
Chleff	<ul style="list-style-type: none"> • Station de dessalement de Ténès • Station de dessalement de Beni Haoua (en cours de réalisation)
Bejaia	<ul style="list-style-type: none"> • Station de dessalement de Béjaïa : 100 000 m³/jour d'eau potable.
Tlemcen	<ul style="list-style-type: none"> • Station de dessalement de Souk Tléta : 200 000 m³/jour d'eau potable • Station de dessalement de Honaïne :
Tizi Ouzou	<ul style="list-style-type: none"> • Station de dessalement de Tizirt
Alger	<ul style="list-style-type: none"> • Station de dessalement du Hamma • Station de dessalement de Staoueli (Palm Beach), mise en service le 19 août 2021, • Station de dessalement de AïnBenian, mise en service le 18 septembre 2021, • Station de dessalement de Zeralda, mise en service le 27 octobre 2021, • Station de dessalement de Bordj El Kiffan (quartier du Bateau cassé), mise en service en avril 2022, • Station de dessalement d'El-Marsa en projet.
Annaba	<ul style="list-style-type: none"> • Station de dessalement d'Annaba
Jijel	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Station de dessalement de Jijel : 200 000 m³/jour d'eau potable.
Skikda	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Station de dessalement de Skikda : 100 000 m³/jour d'eau potable
Mostaganem	<ul style="list-style-type: none"> • Station de dessalement de Mostaganem : 200 000 m³/jour d'eau potable
Oran	<ul style="list-style-type: none"> • Station de dessalement d'Arzew • Station de dessalement de Bousfer • Station de dessalement de AïnTurck • Station de dessalement de Mactaâ :
Boumerdés	<ul style="list-style-type: none"> • Station de dessalement de Djinet • Station de dessalement de Corso en projet
El Taraf	<ul style="list-style-type: none"> • Station de dessalement d'El Tarf
Tipaza	<ul style="list-style-type: none"> • Station de dessalement de OuedSebt • Station de dessalement de Douaouda • Station de dessalement de Bousmail
AïnTémouchent	<ul style="list-style-type: none"> • Station de dessalement de Béni Saf • Station de dessalement de Chatt El Hilal

CHAPITRE 3**CADRE D'ETUDE****1. Introduction**

En raison des coûts énergétiques élevés des usines de dessalement, les experts recherchent des solutions pour réduire ces coûts et augmenter l'efficacité de l'usine, ou développent plus d'usines pour réduire la crise de l'eau, inventent de nouvelles méthodes de dessalement ou développent des méthodes traditionnelles. Telles que les techniques de distillation.

L'objectif final de ce mémoire est de contribuer, nous aborderons l'unité de distillation que nous avons créée et mentionnerons ses détails et ses caractéristiques.

Mais avant de commencer, nous devons considérer quelques concepts préliminaires qui nous aideront à expliquer plus tard.

1. Définitions**2.1. Echangeur thermique**

Un échangeur de chaleur est un dispositif destiné à transférer un flux de chaleur d'un fluide chaud à un fluide froid (entre deux fluides ou plus), les deux fluides ne doivent pas être mis en contact (à travers une paroi bien adapté ou bien dimensionné).

2.2. Echangeur tubulaire

Ou échangeur multitubulaire, est un type d'échangeur thermique se composant d'un faisceau de tubes disposé à l'intérieur d'une enveloppe nommée "calandre".

Dans le secteur industriel, il représente plus de 60% des installations dédiées à l'échange de chaleur.

2.3. La régulation

Le terme réglementation dans son sens spécifique fait référence aux disciplines techniques liées à la science de l'automatisation.

La régulation des procédés industriels regroupe l'ensemble des matériels et moyens techniques mis en œuvre pour maintenir la grandeur physique à réguler égale à la valeur souhaitée, appelée consigne.

La réglementation peut avoir d'autres significations. D'une manière générale, le conditionnement est un ensemble de techniques qui permettent le maintien de la constance fonctionnelle.

3. Description du dispositif de distillation



Figure 3.1 : dispositif de distillation.

3.1. Principe de fonctionnement

Ce dispositif utilise la technologie de distillation pour séparer le sel de l'eau, de sorte qu'une certaine quantité d'eau salée est chauffée dans un réservoir métallique jusqu'à ce qu'elle atteigne le point d'ébullition, et la vapeur monte dans un tube en cuivre le reliant au cylindre métallique que nous utiliser comme échangeur de chaleur.

Ce cylindre est constitué d'un tube de cuivre enroulé sous la forme d'un ressort qui court à l'intérieur du cylindre et sort par le bas et se connecte par le haut au tube qui transporte la vapeur, comme le montre l'image ci-dessus.

L'idée du cylindre est venue d'un échangeur de chaleur à tubes, où la vapeur s'écoule dans les tubes par le haut.

Sur la paroi du cylindre, l'eau de refroidissement a une entrée inférieure, et l'eau de refroidissement sort par une sortie située en haut de sa paroi, appelée contre-courant.

Nous avons réalisé le tube à l'intérieur du cylindre en forme de pulsateur pour réduire la vitesse du flux de vapeur qui assure une grande quantité d'eau condensée (distillat).

Pour faire le chauffage, nous avons voulu utiliser la résistance électrique afin de suivre automatiquement les températures et de les contrôler grâce à une application que nous avons créée sur l'ordinateur, dont il sera question plus loin.

Ceci afin de conserver l'énergie de sorte que lorsqu'un point d'ébullition spécifique est atteint, le chauffage s'arrête et lorsque l'eau refroidit, le chauffage fonctionne automatiquement, et c'est ce qu'on appelle en automatique le système TOR. Mais nous avons rencontré des problèmes avec la résistance électrique, car nous n'avons pas pu obtenir un appareil avec une capacité suffisante pour évaporer l'eau, et par manque de temps, nous avons remplacé la résistance par un réchaud à gaz.

Pour le refroidissement, nous utilisons de l'eau comme liquide de refroidissement, qui est pompée par une pompe électrique immergée dans le réservoir d'eau ; Cette dernière entre par le côté inférieur du cylindre, et lorsqu'elle atteint la sortie supérieure, cette eau a été réchauffée par l'échange de chaleur qui s'est produit entre elle et la vapeur chaude traversant le tube de cuivre. Cette eau circule dans un autre tube de cuivre relié à un ventilateur électrique dans le but de la refroidir et de la diriger vers le réservoir pour être réutilisée.

La température dans l'appareil est mesurée par un ensemble de thermomètres connectés à l'Arduino, lui-même connecté à l'ordinateur, et les résultats sont affichés sur l'application dont nous avons parlé plus haut, qui est détaillée ci-dessous. Ces thermomètres sont montés sur la paroi du réservoir métallique pour surveiller la température de la saumure pendant le processus de chauffage et sont connectés au tube en cuivre le reliant au cylindre pour mesurer la température de la vapeur entrant dans le cylindre et connaître la température à la sortie du tube (distillat) et mesurer la température du liquide de refroidissement à l'entrée et à la sortie du cylindre. Nous faisons cela pour pouvoir maintenir l'efficacité de l'équipement.

3.2. Les composantes et méthode d'installation

3.2.1. Les composants

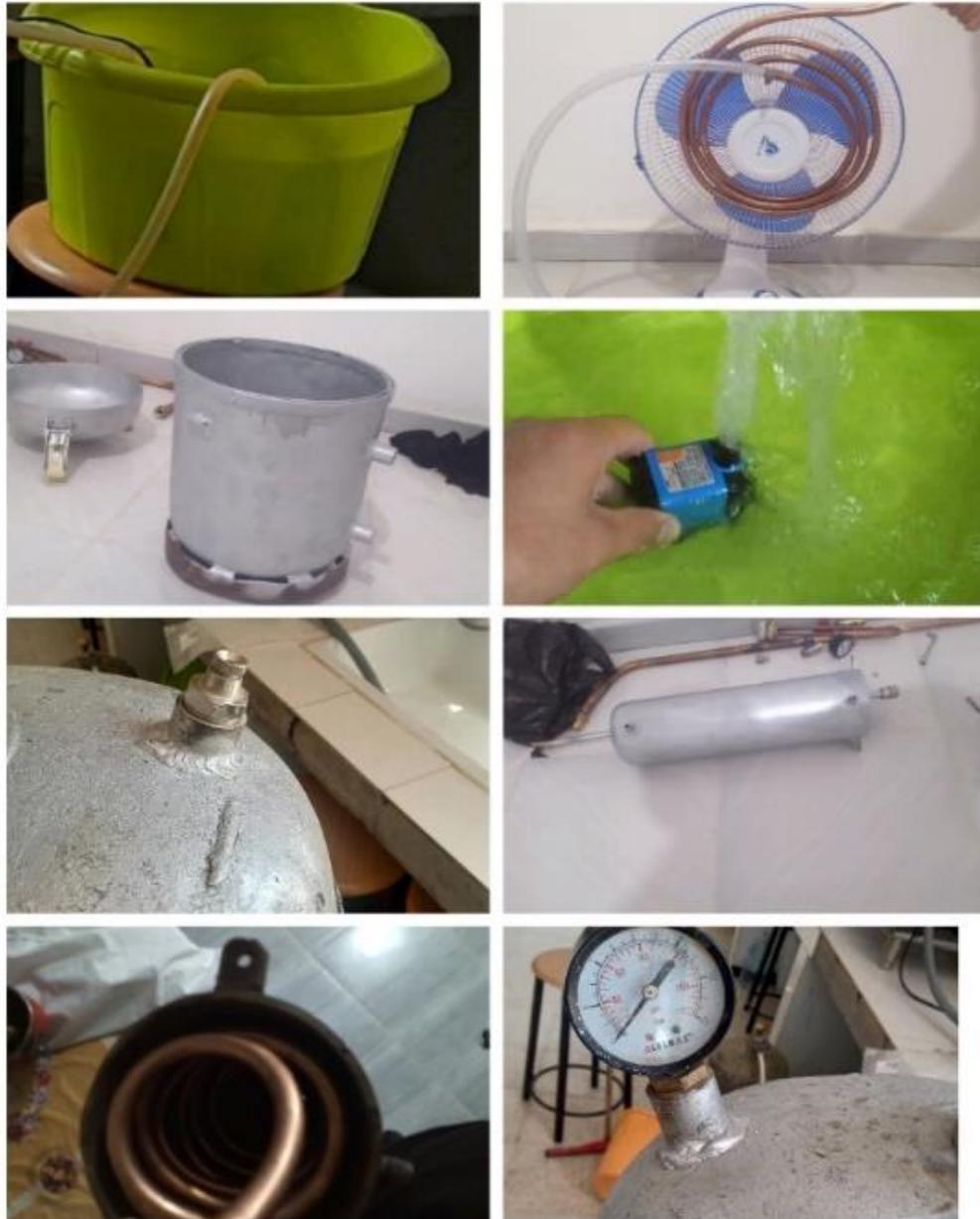


Figure 3.2 : les composés de dispositif.

Nous avons créé cet appareil à travers des équipements ménagers dont nous citons :

- 1- **Bouteille de gaz** : en raison de sa forme, nous avons pensé à apporter certaines modifications afin de l'utiliser comme récipient pour chauffer l'eau salée.
- 2- **Extincteur** : selon la forme de l'échangeur de chaleur tubulaire à l'extérieur, nous pensons qu'il est le plus approprié à cet effet.

- 3- **Un manomètre** : est un instrument de mesure de la pression d'un fluide. Il est à noter que celle-ci ne peut être mesurée que par rapport à une pression de référence, en général la pression atmosphérique.
- 4- **Une soupape de sûreté** : ou soupape de sécurité est un dispositif de protection contre les surpressions.
- 5- **Tubes en cuivre** : pour but de transporter la vapeur d'eau.
- 6- **réservoir d'eau** : c'est un bassin pour contenir de l'eau de refroidissement.
- 7- **Ventilateur** : on utilise pour re-refroidir l'eau.
- 8- **Une pompe** : pour pomper l'eau dans l'extincteur.
- 9- **Les raccords** : pour monter et démonter les pièces de l'appareil.
- 10- **réchaud à gaz** : il utilise pour chauffer l'eau.

3.2.2. La méthode d'installation

Après avoir vidé la bouteille de gaz et l'avoir purifiée de ses traces, nous avons fait quelques modifications pour lui donner l'apparence d'une cocotte-minute : nous avons coupé la partie supérieure et l'avons transformée en couvercle pour qu'elle soit fermée hermétiquement pour empêcher la vapeur de s'échapper, et nous avons remplacé sa tête supérieure par une vanne à raccorder au tube de cuivre par les raccords nécessaires et du côté opposé.

Nous avons fait le même procédé avec l'extincteur pour que nous le vidions de son contenu et avons fait le nécessaire pour le raccorder au tube de cuivre comme indiqué sur la figure ci-dessus et de l'intérieur et nous avons fait un trou dans le fond pour que le tube de cuivre sorte et nous l'avons soudé après l'installation et avons fait deux trous dans son mur pour être une entrée et une sortie Pour l'eau de refroidissement comme nous l'avons expliqué précédemment.

Le liquide de refroidissement est pompé par la pompe immergée à l'intérieur du bassin, qui pousse l'eau à l'intérieur de l'extincteur pour sortir par le haut dans un tube en caoutchouc relié à un tube en cuivre réalisé en forme de cercles, ce tube est relié à un ventilateur d'air pour refroidir l'eau qui a été chauffée par échange de chaleur entre elle et la vapeur circulant dans le tube de cuivre à l'intérieur de l'extincteur. Nous avons créé un trou au fond de la bouteille de gaz pour y installer le radiateur électrique, mais comme nous

l'avons dit précédemment, nous n'avons pas pu utiliser ce dernier, nous avons donc bouché ce trou avec le bouchon approprié.

3.3. Dimension de dispositif

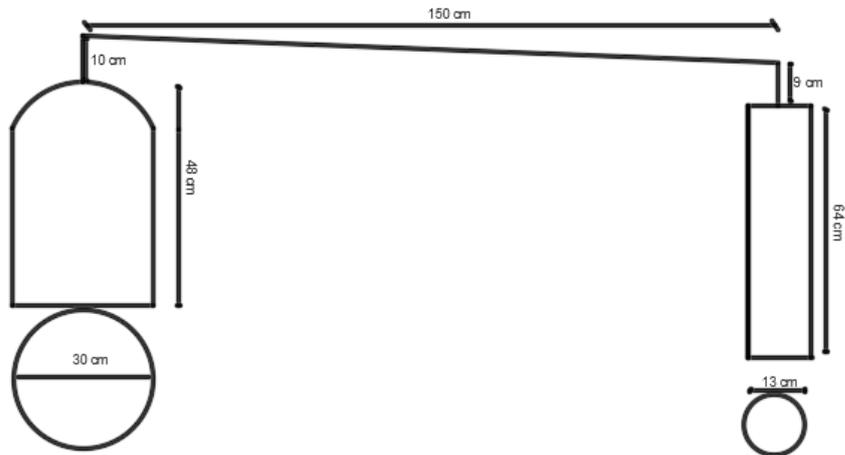


Figure 3.3 : Les dimensions de l'appareil sont réalisées à l'aide d'AutoCAD.

En plus de ce qui est représenté sur la figure, nous mentionnons que le bouteille de gaz peut contenir une contenance d'environ 20 litres, et que le diamètre du tube de cuivre le reliant à l'extincteur est de 22 mm de diamètre ; Le tube fileté en forme de ressort à l'intérieur du cylindre a un diamètre de 12 mm et une hauteur de 40 cm. Les deux trous sur la paroi du cylindre ont un diamètre de 12 mm, ce qui correspond au tube relié à la pompe et au tube installé sur le ventilateur.

4. Partie expérimentale :**4.1. Matériels et produits :**

Figure 3.4 : les matériaux et produits utilisés.

- 1- Becher.
- 2- Verre de montre.
- 3- pH mètre.
- 4- Spatule.
- 5- Arduino.
- 6- Sel alimentaire.
- 7- Conductimètre.
- 8- Thermomètres.
- 9- Balance électronique.
- 10- Eau du robinet.

4.2. Mode opératoire :

Pour tester l'appareil, nous avons mené les expériences suivantes en laboratoire :

Après l'installation de l'appareil, nous avons rempli le réservoir par 10 litres d'eau du robinet après avoir mesuré son pH et sa conductivité ; et le chauffé par un réchaud de gaz.

Au cours de l'échauffement de cette masse d'eau, nous avons enregistré le changement de température sur une plate-forme de conception « TEMP004 », cette application basée sur une source code en LabVIEW ; Les courbes de température en fonction de temps sont affichés comme suit :

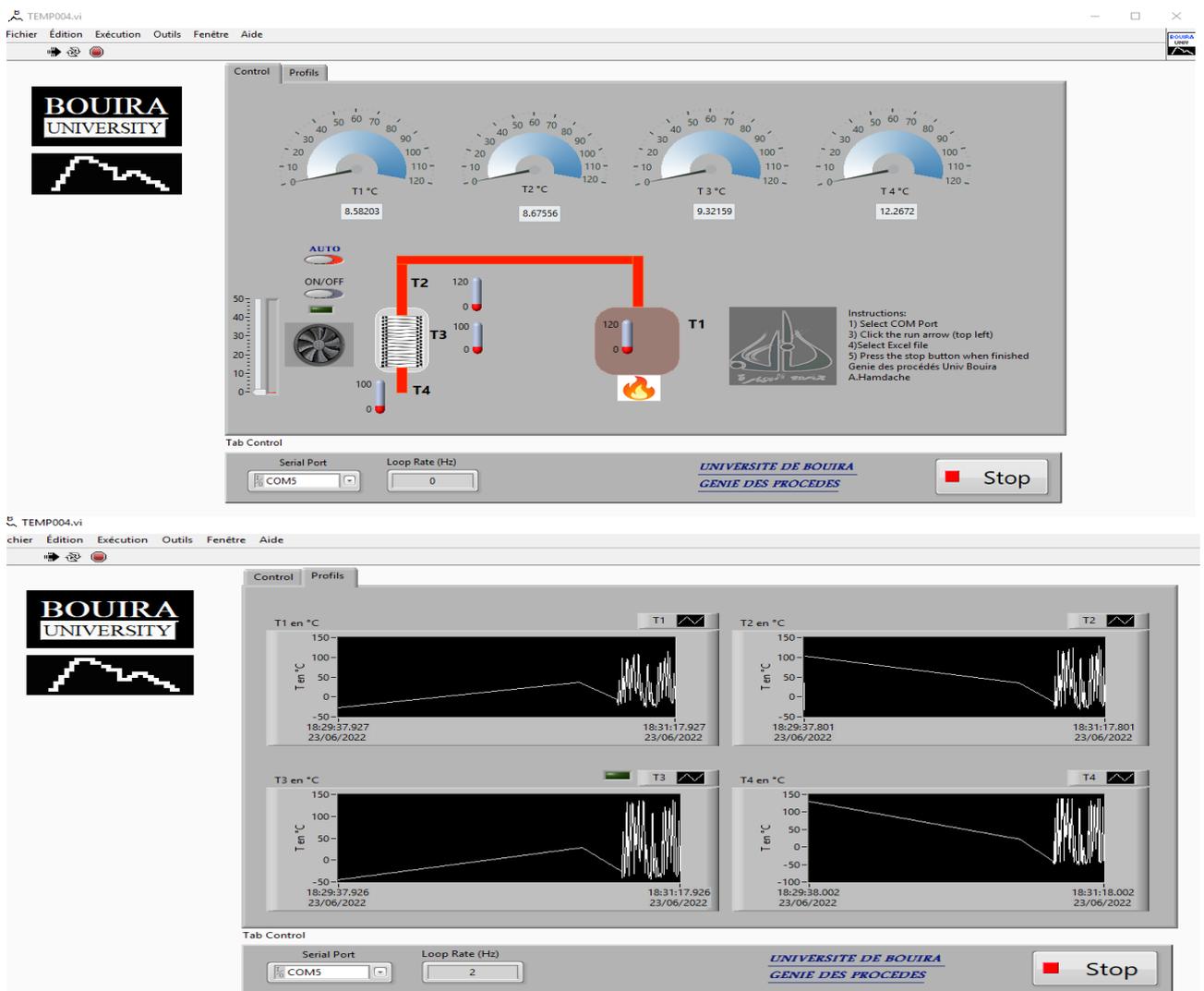


Figure 3.5 : l'application « TEMP004 ».

Après l'extraction du distillat, nous avons mesuré le pH et la conductivité à nouveau. Enfin, nous avons vidé la saumure.

On répète l'expérience plusieurs fois en ajoutant le sel de table dans l'eau du robinet à 35 g/l à différentes concentrations (5 g/l, 10 g/l, 15 g/l...). Dans chaque expérience, nous avons pesé la quantité de sel proportionnelle au volume de 10 litres d'eau du robinet. En prélevons un échantillon pour faire l'analyse nécessaire.

4.3. Résultats

Tab 3.1 : mesures de pH et conductivité.

Concentration (g /l)	0	10	15	20	25	30	35
pH avant	7.3	7.3	7.5	7.4	7.1	7.6	7.4
PH après	5.01	5.3	4.83	5.6	5.2	4.96	5.53
Conductivité avant (mS /cm)	1, 089	23.1	27.88	38.2	45.5	50.47	55.12
Conductivité après (µS /cm)	14.3	13.67	17.58	20.1	22.65	23.04	25.9

Au vu des résultats consignés dans le tableau ci-dessus, notamment le pH, nous avons conclu que le distillat présente une acidité importante. Quant aux mesures de conductivité, une diminution notable de leurs valeurs indique que l'eau s'est débarrassée des sels et d'un pourcentage des minéraux qu'elle contient au cours du processus de distillation.

Nous expliquons l'acidité dans le distillat due au revêtement du réservoir que nous avons préalablement peint pour éviter la corrosion, nous l'avons donc enlevé avec du diluant et séché le réservoir suffisamment longtemps pour éliminer les traces et les odeurs de ce dernier.

NB : Nous avons abandonné les lectures de température dans les expériences précédentes.

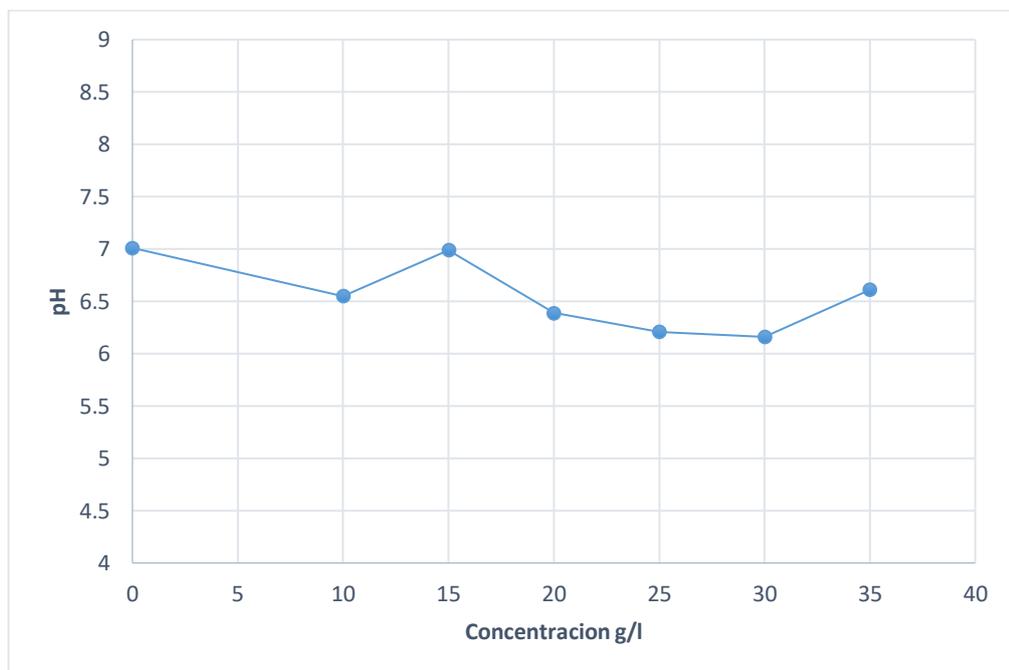
On ressayer les expériences aux mêmes concentrations qu'auparavant, et les résultats étaient tels qu'indiqués dans le tableau ci-dessous.

Tab 3.2 : Les mesures de PH et de conductivité après ré-expérimentation.

Concentration (g /l)	0	10	15	20	25	30	35
pH avant	7.4	7.3	7.4	7.2	7.5	7.2	7.4
pH après	7.01	6.55	6.99	6.39	6.21	6.16	6.61
Conductivité avant (ms /cm)	1.109	17.88	26.1	35.2	37.9	50.1	56.1
Conductivité après (μ s /cm)	12.1	13.9	14.2	15.3	16.8	18.4	19.6

Les valeurs de pH élevées nous ont confirmé l'exactitude de la déduction que nous avons dite dans les expériences précédentes, c'est-à-dire que le revêtement du réservoir était la cause de l'acidité dans le distillat, et après l'avoir retiré, l'acidité a considérablement diminué, mais il n'a pas été complètement enlevé. Nous suggérons comme solution à ce problème, d'envelopper le réservoir de l'intérieur avec du papier d'aluminium résistant à la chaleur.

La valeur de conductivité confirme que le distillat est une eau distillée.

**Figure 3.6** : le changement de pH en fonction de concentration.

D'après cette courbe on peut dire que la salinité n'a pas d'effet sur l'acidité de l'eau, car on a aussi remarqué que la courbe est presque constante ;Quant à certaines fluctuations, cela est dû à la raison que nous avons mentionnée plus tôt, à savoir les effets de la peinture du réservoir.

Pour expliquer la relation entre la salinité et la conductivité de l'eau, nous avons construit les courbes suivantes montrant le changement de conductivité en fonction de la concentration de salinité avant et après le processus de distillation.

A- Avant la distillation

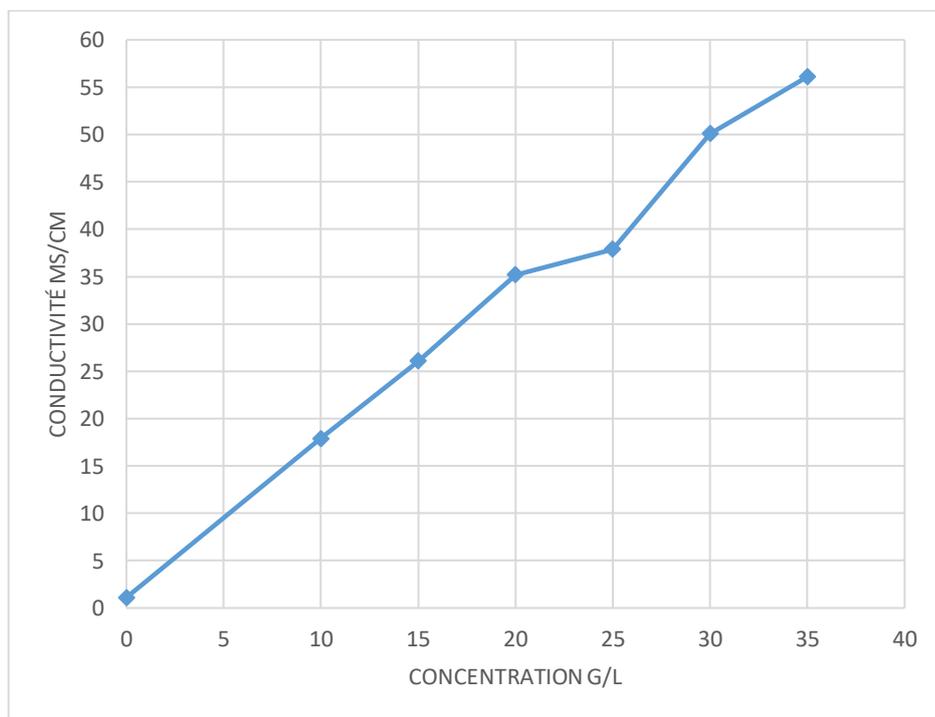


Figure 3.7 : le changement de conductivité en fonction de concentration avant la distillation.

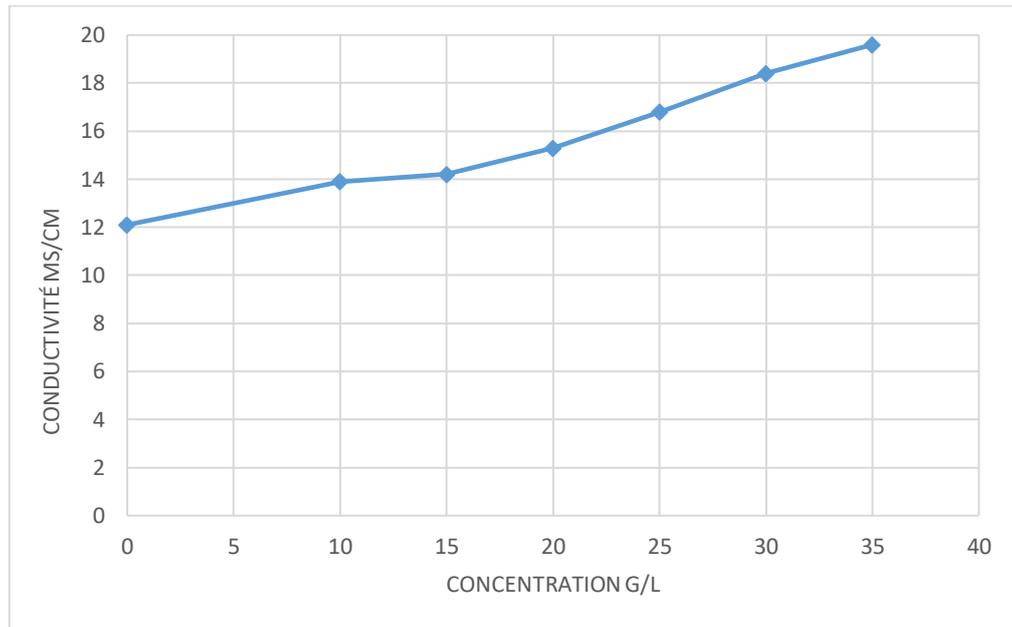
B- Après la distillation

Figure 3.8 : le changement de conductivité en fonction de concentration après la distillation.

Selon les deux courbes, nous avons été assurés que la relation entre salinité et conductivité est une relation directe, que ce soit avant ou après distillation, donc plus la concentration de sel dans l'eau est élevée, plus sa conductivité est élevée.

A partir de l'application « TEMP004 », nous avons pris des mesures de température en fonction du temps de deux expériences, la première et la dernière, afin de comparer les changements de température avec et sans sel. Les résultats étaient les suivants :

C- La concentration de sel = 0 g/l

Temps (min)	0	15	30	45	60	75	90
Température (C)	25.4	57.08	69.15	83.14	104.3	112.6	120

Tab 3.3 : le changement de température de l'eau si la concentration de sel est nulle.

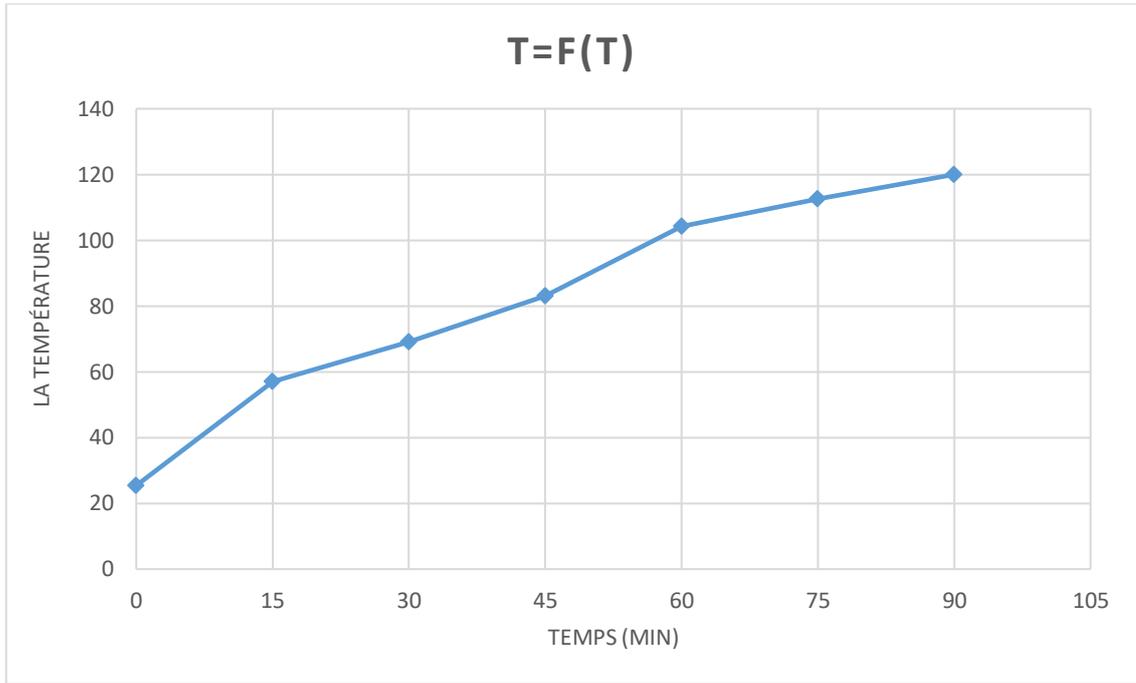


Figure 3.9 : le changement de température pour la concentration de sel =0 g/l.

Temps (min)	0	15	30	45	60	75	90
Température (C)	22.13	23.098	37.92	77.14	84.6	88.721	95.666

Tab 3.4 : Température de vapeur à l'entrée de l'échangeur

Temps (min)	0	15	30	45	60	75	90
Température (C)	24.32	24.19	24	25.218	38.9	29.1	35.14

Tab 3.5 : Température distillat à la sortie de l'échangeur.

Temps (min)	0	15	30	45	60	75	90
Température (C)	24.03	24.2	24.67	25.22	30.59	27.61	36.853

Tab 3.6 : Température d'eau de refroidissement à l'entrée d'échangeur.

Temps (min)	0	15	30	45	60	75	90
Température (C)	73.66	65.123	70.288	71.1	72.087	68.49	70.01

Tab 3.7 : Température d'eau de refroidissement à la sortie d'échangeur

D- La concentration de sel =35 g/l

Temps (min)	0	15	30	45	60	75	90
Température (C)	24.6	55.86	68.08	81.196	102.783	111.28	120

Tab 3.8 : Température de l'eau si la concentration de sel=35 g /l.

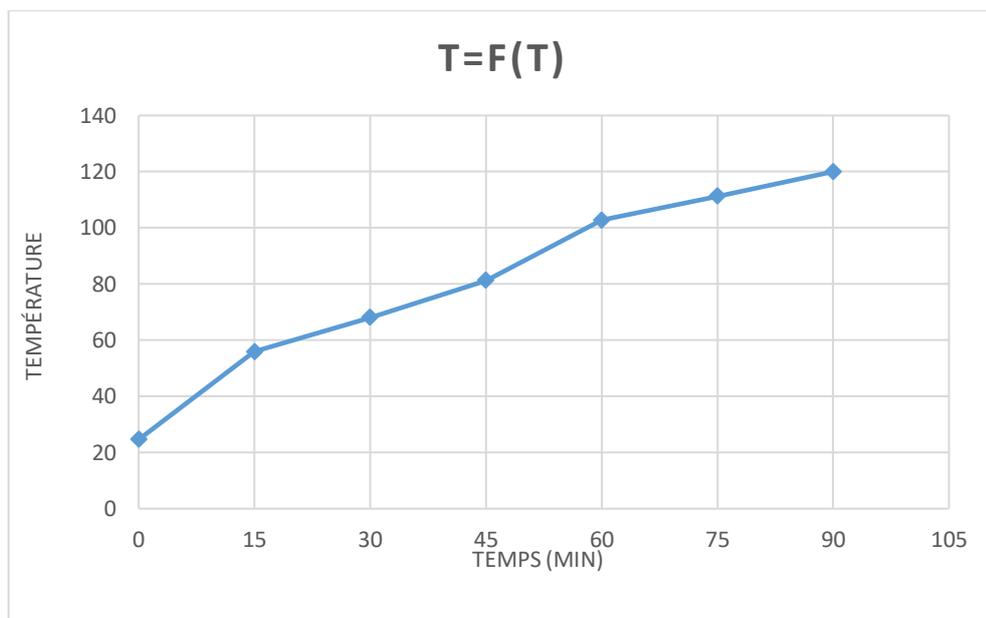


Figure 3.10 : le changement de température si la concentration de sel = 35g/l.

Temps (min)	0	15	30	45	60	75	90
Température (C)	23.14	23.98	40.163	78.067	89.1	96.232	101.13

Tab 3.9 : Température de vapeur à l'entrée de l'échangeur.

Temps (min)	0	15	30	45	60	75	90
Température (C)	23.9	23.64	24.1	24.082	27.319	28.9	27.85

Tab 3.10 : Température du distillat à la sortie d'échangeur

Temps (min)	0	15	30	45	60	75	90
Température (C)	22	22.5	26.69	25.5	32.66	29.335	27.041

Tab 3.11 : Température d'eau de refroidissement à l'entrée d'échangeur

Temps (min)	0	15	30	45	60	75	90
Température (C)	74.2	77	72.11	72.38	79.036	71.268	69.5

Tab 3.12 : Température d'eau de refroidissement à la sortie d'échangeur.

Après avoir examiné les résultats à travers les tableaux et les deux courbes, nous pouvons dire :

On remarque que la température de chauffage de l'eau salée et non salée est relativement proche, mais il convient de noter que l'eau salée est chauffée plus lentement que l'eau en absence de sel, avec une petite différence de temps ; aussi nous indiquons que l'intervalle de temps d'échappement de la vapeur dans les deux expériences entre 45 et 60

minutes ; en précision à 55 (min) dans le cas où la concentration de sel est 0 g/l et 58 (min) à 35 g/l.

L'application « TEMP004 » ne peut pas afficher des températures supérieures à 120 degrés, donc peu importe combien de temps augmente, la température sera toujours la même.

Quant aux distillats, il a également remarqué qu'ils sont presque constants dans les zones de 25 °C, et la raison de leur température élevée est parfois due à l'échange de chaleur entre la vapeur et l'eau de refroidissement, car la chaleur de la vapeur chaude surmonte l'eau de refroidissement, que nous avons essayé de garder au frais en augmentant la glace et avec l'utilisation de ventilateur comme nous l'avons mentionné précédemment.

Afin de connaître le débit de ce processus, nous avons utilisé un bicher de 1L pour récupérer le distillat et en suivant le chronomètre, nous avons obtenu ce qui suit : **Q = 2.5 L /h.**

5. Conclusion

Après cette étude, on peut dire que l'appareil a atteint une partie raisonnable de ce qui est nécessaire, car le processus de distillation est effectué correctement et les produits de distillation étaient exempts de sel, quelle que soit la concentration de sel dans l'eau.

Aussi il peut être développé et modifié pour améliorer son efficacité et réduire l'énergie utilisée dans le processus de distillation.

Conclusion Générale

L'eau est la base de la vie et fait partie intégrante de la formation de tout organisme vivant ; il a des propriétés physiques et chimiques uniques en font une substance merveilleuse et irremplaçable dans nos vies.

La caractéristique la plus importante de l'eau est qu'elle existe dans la nature dans des états physiques : gazeux (vapeur), liquide et solide (neiger) et ils ont un cycle distinct dans la nature à travers lequel il passe d'un état à un autre appeler cycle de l'eau.

Bien que l'eau recouvre la majorité de la surface terrestre, l'eau douce ne constitue qu'environ 2,5 % de la quantité totale d'eau de la planète. Elle se répartit entre l'eau gelée aux pôles et les sommets des montagnes, dont une partie coule à la surface de la terre et le reste est stocké sous terre, constituant les eaux souterraines.

L'eau est classée en fonction de sa teneur en sels dissous. L'eau salée (eau de mer) contient environ 35 000 mg /l de sels dissous par litre, et l'eau douce a une quantité de sels dissous allant de 100 à 1 000 mg /l. Entre eau douce et eau salée il existe les eaux saumâtres.

Le dessalement de l'eau de mer est une méthode idéale pour réduire pénuries d'eau, et ces projets ont un avenir prometteur en fournissant de l'eau douce et en aidant à soutenir les économies des pays où cette eau est dirigée vers divers domaines tels que l'agriculture et l'industrie... Dans ce projet, nous avons parlé du dessalement et de ses étapes, et en précision la technique de distillation, qui est la technique utilisée dans l'appareil que nous avons réalisé, où ce dernier travaille à éliminer les sels des eaux par distillation.

Enfin, cette recherche est l'une des de recherches qui visent à conserver la richesse en eau et les moyens de la sauver, mais nous devons réaliser qu'aucune solution ne fonctionnera si cette eau est utilisée de manière inappropriée et non gérée. Par conséquent, nous devons apprendre à conserver l'eau et à apprécier la valeur de la bénédiction entre nos mains, avant d'arriver à la situation dans laquelle nous disons : Vous ne réaliserez pas la valeur de quelque chose à moins que vous ne le perdiez.

Références bibliographiques

[1]<https://www.eaufrance.fr/les-eaux-souterraines>.

[2]BAKALOWICZ, M., Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques, Agence de l'eau RhôneMéditerranée, Corse, 1999.

[3]IverDuedall, Notes de cours - Océanographie, Florida Institute of Technology.
https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau_de_mer

[4]Jean-Marie PÉRÈS. <https://www.universalis.fr/encyclopedie/ocean-et-mers-eaux-marines-proprietes>.

[5]Klein et al, 1999. <https://hmf.enseeiht.fr>.

[6]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.

[7]HABET, L., Contribution à l'étude des impacts du dessalement des eaux de mer sur l'environnement, Mémoire de Magister, Université M'Hamed BougaraBoumerdes, 153pages, 2012.

[8]MOULIN, B., Le kayak et la mer, édition le Canotier, 2004.

[9]ATALLAH, A., Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée de la station HONAINÉ. Mémoire de fin d'étude, Master, Université Abou BekrBelkaid Tlemcen, 99 pages, 2014.

[10]<https://www.aquaportail.com>.

[11]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.

[12]MONIQUE, H., Les eaux naturelles et les eaux de consommation, Saint Laurent, 1991.

[13]SAVARY P, Guide des analyses de la qualité de l'eau, territorial éditions, pp75-115, 2010.

[14]équipe technique du RéFEA.<https://www.oieau.fr>.

[15]HASLAY C. et LECLERC H., Microbiologie des eaux d'alimentation, technique et documentation, édition Lavoisier, Paris, 1993.

[16]HAMANI, A., Etude des performances du pilote d'électrodialyse dans la déminéralisation des eaux saumâtres, Mémoire de fin d'études, Ecole nationale supérieure de l'hydraulique AbraouiAbdelah, 100 pages, 2013.

[17]<https://www.flandres-analyses.com>.

[18]<http://univ-guelma.dz/fr> Mémoire de Master. Présente par : MECHENENE Hamza en 2011.

- [19][https://www.britannica.com/ Desalination](https://www.britannica.com/Desalination)", 17-1-2019.
- [20]MAUREL A. (2006). Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, 2eme édition, TEC &doc.286p.
- [21]<https://www.lenntech.fr>.
- [22]NICOS X. TSIOURTIS, « desalination and the environnement » ; desalination vol 141,2005.
- [23]V. RENAUDIN, « Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres » CNRS, Nancy 2003.
- [24]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.<https://culturesciences.chimie.ens.fr>.
- [25]<https://tpeorbleu.wordpress.com/techniques-de-dessalement>.
- [26]BRIBIESKA, A., Colmatage des membranes par les minéraux et les protéines en cours d'électrodialyse conventionnelle, Collection des thèses et mémoires électroniques, 2005.
- [27]Vivien Lecomte et mis à jour en octobre 2014 – <https://ecotoxicologie.fr>.
- [28]UNEP/MAP, « Dessalement de l'eau de mer en méditerranée évaluation et lignes Directrices », MAP Technical Reports Series No. 139, Athens, 2003.
- [29][https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste des stations de dessalement en Alg](https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_stations_de_dessalement_en_Alg).

ملخص

يركز العمل المقدم في هذا الموضوع على أهم المراحل المتبعة لابتكار جهاز تقطير، لتحلية مياه البحر. ولقد استخدمنا تطبيق TEMP004 من أجل المتابعة الأوتوماتيكية لعملية التقطير. كما بينا أهم الخطوات المتبعة لتحليل المياه وبيننا المعايير الدولية والوطنية التي تحدد صلاحية المياه. استهدفنا أيضا في الجانب النظري طرق تحلية مياه البحر في محطات التحلية وأوضحنا تأثيراتها على البيئة

Résumé

Le travail présenté dans ce thème se concentre sur les étapes les plus importantes utilisées pour réaliser un dispositif de distillation, pour dessaler l'eau de mer. Nous avons utilisé l'application « TEMP004 », pour un suivi automatiquement pendant le processus de distillation.

Nous avons également expliqué les étapes les plus importantes suivies pour l'analyse de l'eau et les normes internationales et nationales qui déterminent la validité de l'eau.

Aussi dans la partie théorique, nous avons également ciblé les méthodes de dessalement de l'eau de mer dans les usines de dessalement et expliqué leurs impacts sur l'environnement.

Abstract

The work presented in this theme focuses on the most important steps used to make a distillation device, to desalinate seawater. We used the "TEMP004" application, for automatic monitoring during the distillation process.

We have also explained the most important steps followed for water analysis and the international and national standards that determine the validity of water.

Also in the theoretical part, we also targeted seawater desalination methods in desalination plants and explained their impacts on the environment.