



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABDELHAMIDE IBN BADIS –MOSTAGANEM



Faculté des Sciences Exactes et d'Informatique

Département de chimie

Filière : chimie

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour L'Obtention du Diplôme de Master en chimie

Option : chimie appliquée

THEME :

**Etude de l'effet d'une bentonite modifiée dans le
traitement de déchet de dessalement de l'eau de mer
(la saumure)**

Présenté par :

DAHMANE BOUNOUA Silia

SAHNOUN Rachida

Soutenu le : Devant le jury composé de :

Devant le jury

Président : Pr BENMALTI Mohamed El Amine

Examineur : Dr BELALIA Mahmoud

Encadrant : Mr KADI AEK

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020/2021

REMERCIEMENT

**Nous tenons à remercier avant tous <>الله le tout
puissant qui nous a donné la
Santé, le courage, la volonté et la patience pour
réaliser ce travail.**

**Un remerciement exceptionnel à notre
encadreur Mr. Kadi AEK d'avoir accepté la
charge de cette mémoire.**

**Non remercions tous les gens qui ont contribué
de près ou de loin dans ce modeste travail.**

**En fin toute nos gratitude aux membres du
jury (Pr. BENMALTI Amin et Dr. BELAILIA
Mahmoud) qui nous font l'honneur de jury ce
travail.**

Merci

DEDICACE

Tout d'abord je dois remercier Dieu de m'avoir

Aider à arriver jusqu' à ce niveau d'études,

Et de réaliser ce modeste travail, et que je le dédie :

A mes très chers parents, et que dieu le tout

Puissant les

garde en bonne santé, à mes frères

Et mes sœurs

A toute la famille SAHNOUN

A tous mes amis (Siham et Djamila).

A toute la promotion de chimie 2020/2021

En fin à toutes personnes qui m'ont soutenu et

Aidé à réaliser ce travail.

Rachida

DEDICACE

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail à :
Mes chers parents qui m'ont soutenu et
encouragés dans ma carrière universitaire et à la
Réalisation de ce travail.
Que dieu les garde.

Mes chères sœurs et frères

Et toute la famille DAHMANE BOUNOUA

SILIA

Résumé

La situation hydrique surtout dans les villes littorales reflète nettement un état de sécheresse, qui dure depuis plus de deux décennies. Le dessalement se présente comme une solution efficace face au sérieux problème de pénuries d'eau. En effet, par le phénomène de la littoralisation, la plus grande partie de la population et des activités économiques se trouvent le long des 1200 Km de côte. Les conditions tout à fait particulières de la mer méditerranée (eau fraîche à 19°C et salinité moyenne, alors que les eaux du golf sont à 30°C et très salées) font que les coûts d'exploitation des stations implantées en méditerranée sont plus économiques et les rendements plus élevés. La méthode par osmose inverse a été adoptée pour les stations implantées, puisque cette méthode donne de bas prix grâce à l'amélioration des technologies, des membranes plus performantes et à durée de vie plus longue. Le coût global du mètre cube ne dépasse pas 0,5 Euro, ce qui est très intéressant. En somme, l'option dessalement d'eau de mer nous semble la solution incontournable face à l'état de sécheresse que vit le pays. La préservation de l'environnement est au cœur des préoccupations des états et la réglementation se fait de plus en plus stricte en matière de gestion des rejets et exige des études d'impacts avant d'entamer n'importe quelle activité. Aujourd'hui le développement durable est une option incontournable pour la survie de la planète. Cet étude a pour objet de préserver l'écosystème littorale contre la salinité croissante à cause des rejets de dessalement (saumure) en réduisant la concentration de cette dernière et afin de lutter contre certains phénomènes biologiques tels que l'eutrophisation en procédant la technique d'adsorption par la bentonite.

Abstract.

The water situation, especially in coastal towns, clearly reflects a state of drought, which has lasted for more than two decades. Desalination is presented as an effective solution to the serious problem of water shortages. Indeed, by the phenomenon of coastline, most of the population and economic activities are found along the 1200 km of coastline. The very specific conditions of the Mediterranean Sea (fresh water at 19 ° C and average salinity, while the waters of the golf course are at 30 ° C and very salty) mean that the operating costs of resorts located in the Mediterranean are higher. economical and higher returns. The reverse osmosis method has been adopted for implanted stations, since this method gives low prices thanks to improved technologies, more efficient membranes with a longer lifespan. The overall cost of the cubic meter does not exceed 0.5 Euro, which is very interesting. In short, the seawater desalination option seems to us to be the essential solution to the state of drought that the country is experiencing. Preserving the environment is a central concern of states and regulations are becoming increasingly strict in terms of waste management and require impact studies before starting any activity. Today, sustainable development is an unavoidable option for the survival of the planet. The purpose of this study is to preserve the coastal ecosystem against increasing salinity due to desalination discharges (brine) by reducing the concentration of the latter and in order to fight against certain biological phenomena such as eutrophication by using the technique of adsorption by bentonite.

ملخص

يعكس الوضع المائي ، لا سيما في المدن الساحلية ، بوضوح حالة الجفاف التي استمرت لأكثر من عقدين. يتم تقديم تحلية المياه كحل فعال لمشكلة نقص المياه الخطيرة. في الواقع ، من خلال ظاهرة الساحل ، يتواجد معظم السكان والأنشطة الاقتصادية على طول 1200 كم من الساحل. إن الظروف المحددة للغاية للبحر الأبيض المتوسط (المياه العذبة عند 19 درجة مئوية ومتوسط الملوحة ، في حين أن مياه ملعب الجولف عند 30 درجة مئوية ومالحة للغاية) تعني أن تكاليف تشغيل المنتجعات الواقعة في البحر الأبيض المتوسط أعلى. اقتصادية وعوائد أعلى. تم اعتماد طريقة التناضح العكسي للمحطات المزروعة ، لأن هذه الطريقة تعطي أسعارًا منخفضة بفضل التقنيات المحسنة والأغشية الأكثر كفاءة مع عمر أطول. التكلفة الإجمالية للمتر المكعب لا تتجاوز 0.5 يورو ، وهو أمر مثير للاهتمام للغاية. باختصار ، يبدو أن خيار تحلية مياه البحر هو الحل الأساسي لحالة الجفاف التي تمر بها الحفاظ على البيئة هو الشغل الشاغل للدول ، وأصبحت اللوائح صارمة بشكل متزايد فيما يتعلق بإدارة النفايات وتتطلب البلاد دراسات التأثير قبل البدء في أي نشاط. اليوم ، تعد التنمية المستدامة خيارًا لا مفر منه لبقاء الكوكب. الغرض من هذه الدراسة هو الحفاظ على النظام البيئي الساحلي ضد زيادة الملوحة بسبب تصريفات تحلية المياه (محلول ملحي) عن طريق تقليل تركيز الأخير ولمكافحة بعض الظواهر البيولوجية مثل التخثث باستخدام تقنية الامتزاز بواسطة البنطونيت.

Liste Des Tableaux

Tableau	Page
Chapitre I : généralité sur l'eau et dessalement	
Tableau I.1.1 : concentration des éléments principaux pour une eau de la mer de salinité	07
Tableau I.1.2 : salinités des eaux de mer	08
Tableau I.2.3 : avantage et inconvénients des procédés de dessalement d'eau de mer	20
Tableau I .2.4 : comparaison entre les procédés membranaires	22
Chapitre II : dessalement en l'Algérie et son effet sur l'environnement	
Tableau II.5 : la grande unité de dessalement en Algérie	26
Chapitre III : généralité sur l'adsorption et la conductivité	
Tableau III.1.6 : différences principales entre l'adsorption physique et chimique	38
Tableau III.1.7 : expressions mathématiques du modèle de Langmuir	45
Chapitre IV : généralité sur l'argile et bentonite	
Tableau IV.1.8 : caractéristique des argiles	56
Tableau IV.1.9 : composition chimique de la bentonite de Maghenia	57
Tableau IV.2.10 : caractéristique physico-chimique de la bentonite d'Algérie	61
Chapitre V : étude expérimental	
Tableau V.11 : tableau des matériels et appareillage	62
Tableau V.12 : caractéristique physico-chimique de la bentonite de Maghenia	63
Tableau V.13 : composition chimique de la bentonite de Maghenia	63
Tableau V.14 : les conditions opératoires du processus d'adsorption	65
Tableau V.15 : résultats d'analyse spectrophotométrie des solutions NaNO_3	67
Tableau V.16 : résultats d'analyse des solutions NaNO_3	68
Tableau V.17 : caractéristique de la bentonite activée	69
Tableau V.18 : les valeurs des paramétré physico-chimique de l'eau de saumure(ER) avant d'adsorption	69
Tableau V.19 : les résultats de concentration de sels avant l'adsorption de la saumure	70
Tableau V.20 : les résultats de concentration des ions avant l'adsorption de la saumure	70
Tableau V.21 : effet du temps de contact sur l'adsorption de la saumure	70
Tableau V.22 : effet du temps de contact sur l'adsorption de la saumure	71
Tableau V.23 : effet du temps de contact sur l'adsorption de la saumure	72
Tableau V.24 : les résultats de modèle cinétique du premier ordre	73
Tableau V.25 : les résultats de modèle cinétique du second ordre	73

Tableau V.26 : paramètres cinétiques d'adsorption du la saumure sur la bentonite de Maghenia	74
Tableau V.27 : effet de la masse de bentonite sur l'adsorption de la saumure	75
Tableau V.28 : effet de la masse de bentonite activée sur l'adsorption de la saumure	75
Tableau V.29 : isotherme d'adsorption	77
Tableau V.30 : les paramètres équationnels du modèles Langmuir	78
Tableau V.31 : constant relatives aux modèles de Langmuir	79
Tableau V.32 : les paramètres équationnels du modèles Freundlich	79
Tableau V.33 : constante relatives aux modèles Freundlich	80
Tableau V.34 : tableau présentatif des paramètres des modèles (Langmuir et Freundlich)	80
Tableau V.35 : effet de la température sur l'adsorption de la saumure	81
Tableau V.36 : effet de la température sur l'adsorption de la saumure	82
Tableau V.37 : influence de la température sur l'adsorption de la saumure	83
Tableau V.38 : valeurs des paramètres thermodynamique de l'adsorption de la saumure sur la bentonite	83
Tableau V.39 : les résultats de concentration des ions après l'adsorption de la saumure	84
Tableau V.40 : les valeurs des paramétré physico-chimique de l'eau de saumure (ER) après d'adsorption	85
Tableau V.41 : la comparution de conductivité dans chaque année	85

List des Figures

Figure	Page
Chapitre I : généralité sur l'eau et dessalement	
Figure I.1.1 : la molécule d'eau	04
Figure I.1.2 : l'eau de mer de la méditerranée	07
Figure I.2.3 : schéma générale d'une installation de dessalement	11
Figure I.2.4 : coagulation-floculation	13
Figure I.2.5 : principaux procédés industriels de dessalement	14
Figure I.2.6 : distillation simple effet	15
Figure I.2.7 : distillation à effets multiples	16
Figure I.2.8 : principe des phénomènes d'osmose et l'osmose inverse	18
Figure I.2.9 : module spirale	19
Figure I.2.10 : structure des membranes d'osmose inverse	20
Figure I.2.11 : cellule élémentaire d'électrodialyse	22
Chapitre II : dessalement en l'Algérie et son effet sur l'environnement	
Figure II.12 : le programme de dessalement d'eau de mer	26
Chapitre III : généralité sur l'adsorption et la conductivité	
Figure III.1.13 : domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux	39
Figure III.1.14 : classification des isothermes d'adsorption selon Giles	43
Figure III.2.15 : migration des ions en solution	50
Figure III.2.16 : digramme simplifié d'un conductimètre	53
Chapitre IV : généralité sur l'argile et bentonite	
Figure IV.1.17 : le tétraèdre, élément structural de base des silicatés	55
Figure IV.1.18 : réseau hexagonale plan des tétraèdres des phyllo silicatés	55
Figure IV.1.19 : couche octaédrique	55
Figure IV.1.20 : photographies au microscope électronique à balayage des argiles	56
Figure IV.2.21 : structure de la montmorillonite	59
Figure IV.2.22 : domaines industriels d'utilisation des bentonites	61
Chapitre V : étude expérimentale	
Figure V.23 : la bentonite de Maghenia	62
Figure V.24 : la décantation à l'air libre	63

Figure V.25 : le broyage de la bentonite	64
Figure V.26 : spectre UV-visible d'une solution de NaNO_3	67
Figure V.27 : la courbe d'étalonnage	68
Figure V.28 : la courbe représentative des résultats de taux d'activation	68
Figure V.29 : effet du temps de contact sur l'adsorption de la saumure	71
Figure V.30 : effet du temps de contact sur l'adsorption de la saumure	71
Figure V.31 : effet du temps de contact sur l'adsorption de la saumure	72
Figure V.32 : représentation graphique du modèle cinétique du premier ordre	73
Figure V.33 : représentation graphique du modèle cinétique du second ordre	74
Figure V.34 : effet de la masse de bentonite activée sur l'adsorption de la saumure	75
Figure V.35 : effet de la masse de bentonite activée sur l'adsorption de la saumure	76
Figure V.36 : isotherme d'adsorption du la saumure sur la bentonite activée	77
Figure V.37 : isotherme de Langmuir	79
Figure V.38 : isotherme de Freundlich	80
Figure V.39 : effet de la température sur l'adsorption de la saumure	81
Figure V.40 : effet de la température sur l'adsorption de la saumure	82
Figure V.41 : influence de la température sur l'adsorption de la saumure	83
Figure V.42 : les résultats de concentration des ions après l'adsorption de la saumure	84

Listes des abréviations et symboles utilisées

Symboles	Significations	Unité
Q_e	Quantité d'adsorbat adsorbé par unité de masse d'adsorbant	Mg/g
Q_m	Capacité maximale d'adsorbant appelée aussi capacité (ultime)	Mg/g
Q_t	Quantité d'adsorbat par gramme d'adsorbant a un temps t	Mg/g
X	Masse de d'adsorbat adsorbé	Mg
C_0	Concentration initiale du soluté	Mg/l
C_e	Concentration du soluté à l'équilibre d'adsorption	Mg/l
V	Volume de solution	L
M	Masse d'adsorbant utilisé	G
B	Constante de Langmuir	l/mg
n/K_f	Constante de Freundlich	-
K_{ad}	Constante de vitesse	-
P	Densité apparente	g/cm ³
ε	La porosité	(%)
ϵ	Coefficient d'extinction molaire	(l/mg.cm) ou (l/mol.cm)
T	Température	(°C)
T	Temps	(min)
E	Energie de liaison	KJ/mol
Σ	Conductivité	ms.cm ⁻¹
Λ	Conductivité molaire ionique	ms .m ² .mol ⁻¹
ΔH	Enthalpie standard	KJ/mol
ΔS	Entropie standard	j/mol

Titre	Page
Introduction générale	01
1. La partie théorique	
Chapitre I : généralité sur l'eau et dessalement	
I.1.1.Introduction	03
I.1.2.Définition de l'eau	03
I.1.3.Origine et différent type d'eau	04
I.1.3.1.Eaux naturelles	05
I.1.3.2.Eaux souterraines	05
I.1.3.3.Eaux surfaces	05
I.1.3.4.Eaux potables	05
I.1.3.5.Eaux douces	06
I.1.3.6.Eaux dures	06
I.1.3.7.Eaux de marais	06
I.1.3.8.Eaux de mer et eaux saumâtres	06
I.1.4.Définition de l'eau de mer	06
I.1.5.Les composition chimique de l'eau de mer	07
I.1.6.Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer	08
I.1.6.1.Les caractéristiques chimiques	08
I.1.6.2.Les caractéristique physiques	09
I.2.1.Introduction sur dessalement	10
I.2.2.Définition de dessalement	11
I.2.3.Les principe de dessalement	11
I.2.3.1.Captation de l'eau de mer	11
I.2.3.2.Le prétraitement	12

I.2.4.Les procédés de dessalement	14
I.2.5.Problèmes techniques rencontres en dessalement	22

Chapitre II : dessalement en l'Algérie et son effet sur l'environnement

II.1.Introduction	25
II.2. dessalement en Algérie	25
II.3.Les avantages et les inconvénients de dessalement en Algérie	27
II.4.Les différents impacts de dessalement de l'eau de mer sur l'environnement	28
II.4.1.Effets dus au prélèvement d'eau de mer	28
II.4.2.L'influence de l'énergie dégagée par la station de dessalement sur qualité de l'eau	29
II.4.3.Effets des produits chimiques	30
II.4.3.1.Effets dus à la présence des métaux lourds dans le rejet	30
II.4.3.2.Effets dus aux additifs d'antitartre	31
II.4.3.3.Effets des seaux additifs antisalissure	31
II.4.4.Rejet de saumure	31
II.4.5. L'eutrophisation	32
II.5.Impact environnementaux de la station de dessalement	32
II.5.1.Phase de construction	32
II.5.2.Phase d'exploitation	34

Chapitre III : généralité sur l'adsorption et la conductivité

III.1.1.Introduction	37
III.1.2.définition	37
III.1.3.Types d'adsorption	37
III.1.3.1.Adsorption physique	37
III.1.3.2.Adsorption chimique	38
III.1.4.Description de mécanisme de l'adsorption	39

III.1.5.Adsorbants	40
III.1.5.1.Définition	40
III.1.5.2.Défirents types d'adsorbants	40
III.1.5.2.1.Adsorbants à faible capacité	40
III.1.5.2.2.Adsorbants à haute capacités	40
III.1.6.Critère de la bonne qualité de l'adsorbant	41
III.1.7.Facteurs influençant le phénomène d'adsorbants	42
III.1.7.1.Nature de l'adsorbant	42
III.1.7.2.L'influence de l'adsorbant	42
III.1.8.Isotherme d'adsorption	43
III.1.8.1.Définition d'isotherme d'adsorption	43
III.1.8.2.Classificatio des isothermes d'adsorption	43
III.1.8.3.Modèles d'isothermes d'adsorption	44
III.1.8.3.a.Modèles Langmuir	44
III.1.8.3.b.Modèles Freundlich	45
III.1.9.Cinétique d'adsorption	46
III.1.10.Thermodynamique d'adsorption	48
III.1.11.Capacité d'adsorption	48
III.1.12.Application d'adsorption	48
III.1.13.Utilisation d'adsorption	49
III.2.1.Définition de conductivité	49
III.2.2.Mesurer la conductivité	50
III.2.3.La solution conductrice	50
III.2.4.Définition des termes utilisés	51

Chapitre IV : généralité sur l'argile et la bentonite

IV.1.Introduction	54
IV.1.1.Les argiles	54
IV.1.2.Propriétés des argiles	56

IV.1.3.Les propriétés physico-chimiques des argiles	57
IV.2.2.Lesbentonites	57
IV.2.2.Origine de la bentonite	57
IV.2.3.Type de la bentonite	58
IV.2.3.2.Bentonite activée	58
IV.2.4.Structure de la bentonite	59
IV.2.5.Caractéristique physique des montmorillonites	59
IV.2.5.1.La capacité d'échange cationique	59
IV.2.5.2.La surface spécifique	60
IV.2.5.3.Le gonflement	60
IV.2.6.Application de la bentonite	61
IV.2.7.Labentonite en Algérie	61

2- La partie expérimentale

Chapitre V : Etude expérimentale

V. Matériels et Méthodes	62
V.1.Matériels et appareillage	62
V.2.Réactiv utilisés	62
V.3.Méthodologie de travail	62
V.3.1.Choix de la bentonite	62
V.3.2.Purification de la bentonite	63
V.3.3.Activation de bentonite	64
V.3.4.Caractérisation de la bentonite activée	64
V.3.4.1.Mesure de la densité apparente	64
V.3.4.2.Mesure de la porosité	65
V.3.5.Optimisation des conditions d'adsorption du la saumure	65
V.4.Résultats et discussions	67
V.4.1.Tracage de la courbe d'étalonnage du NaNO_3	67

V.4.2.Choix de la bentonite activée	68
V.5.Cracterisation de bentonite	69
V.6.Etude fondamentale d'adsorption du la saumure sur la bentonite activée	69
V.6.1.Effet du temps de contacts	70
V.6.1.1.Modèle cinétique du pseudo premier ordre	72
V.6.1.2.Mogéle cinétique du pseudo second ordre	73
V.6.2.Effets de la masse de bentonite activée	74
V.6.3.Etablissement des isothermes d'adsorption	76
V.6.3.1.Modélisation des résultats expérimentaux	78
V.6.3.1.1.Le modèle de Langmuir	78
V.6.3.1.2.Le modèle de Freundlich	79
V.6.4.Effet de la température	81
V.6.4.1.Modèle thermodynamique	83
Conclusion	86

Partie théorique

Introduction généralité

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Malgré que 71 % de la surface de la terre être recouverte d'eau, il y a seulement 3 % d'eau douce dans différents réservoir, et le reste (97 %) représente l'eau salée, qui nous conduira tôt ou tard à la pénurie d'eau, surtout avec l'évolution que connaît l'environnement urbain et industriel. Cette situation oblige tous les pays du monde à chercher des sources d'eau fiable, et qui n'est pas soumise aux changements climatiques. C'est dans cette logique que les stations de dessalement des eaux s'inscrivent puisqu'elles permettent de produire de l'eau potable à partir de l'eau de mer ou d'eaux saumâtres grâce à des techniques particulières.

Le dessalement des eaux saumâtres et, a fortiori, de l'eau de mer procure une solution séduisante à cette problématique. C'est pourquoi le marché du dessalement est d'ores et déjà en pleine expansion avec une progression d'environ 7 % par an [1].

Après le dessalement l'eau de mer augmente la salinité et les et les niveaux de métaux lourds, détruit le fond marin et réduit la biomasse planctonique et la biodiversité marine.

Il a également affecté les structures cellulaires sur la croissance et la reproduction survie des macrophytes. [2]

Parmi les procédés de traitement de la saumure, l'adsorption reste une technique relativement utilisée et facile à mettre en œuvre. Le charbon actif est l'adsorbant le plus largement utilisé en raison de sa grande capacité d'adsorption des matériaux organiques [3]. Toutefois, cet adsorbant à un coût élevé et reste difficile à régénérer. La recherche d'un autre adsorbant efficace et moins coûteux s'avère donc intéressante. Dans cette optique, l'utilisation de l'argile en tant qu'adsorbant présente un grand intérêt en raison de son efficacité, son coût accessible et son abondance [4].

Dans ce cadre, nous nous appuyons principalement sur la bentonite nouvelle et modifiée. La modification de la structure organique de la montmorillonite s'est faite à la taille binamellaire pour espacer au plus près les couches minérales argileuses, puis pour conférer un caractère hydrophobe et organophile au matériau en fixant certaines molécules du tensioactif actionnable par adsorption.

Dans ce travail, nous étudions les effets du dessalement de l'eau de mer sur l'écosystème aquatique au moyen d'une technique d'adsorption utilisant un matériau argileux (bentonite de Magnai activé) pour adsorber la saumure. Ce compose de deux parties, théorique et expérimentale.

Dans la première partie théorique on déclare quatre chapitres principalement sont

Introduction générale

➤ **Chapitre I :** Généralité sur l'eau et dessalement.

Nous sommes intéressés par l'étude de l'eau, notamment en ce qui concerne l'eau de mer et ses méthodes de dessalement.

➤ **Chapitre II :** Dessalement en l'Algérie et son effet sur l'environnement

Nous avons étudié les inconvénients du dessalement sur l'écosystème aquatique.

➤ **Chapitre III :** Généralité sur l'adsorption et la conductivité.

On a fait une étude sur l'adsorption ; les types ; et la cinétique de cette processus.

➤ **Chapitre IV :** Généralité sur les argiles et la bentonite.

Dans ce chapitre on s'intéresse à l'étude des argiles ; leurs classes et notamment tout ce qui concernant la bentonite.

Dans la deuxième partie expérimentale

Dans cette partie, nous sommes amenés à étudier les effets de certains paramètres (temps de contact, la masse, et la température) sur la bentonite activée en présentant les matériaux utilisés et la méthode approuvée, et en fin les résultats obtenus sont présentés dans la conclusion générale et résumant les principaux résultats de ce travail avec des recommandations au cas où la recherche se poursuivrait.

Chapitre I

Parité 01 : généralité sur l'eau

I.1.1.Introduction.

(L'eau est source de vie a-t-on coutume de dire et sans eau, Il n'y a pas de vie). L'eau est un élément naturel d'une importance primordiale, Indispensable à toute forme de vie, L'eau est une richesse nécessaires à toutes activités humaines, C'est un facteur de production déterminant dans le développement durable, Elle devient de plus en plus au centre des intérêts stratégiques. Pour son bien être l'homme a appris à maitriser l'eau, Mais en même temps il l'a rend impropre et polluée et devient dans ce cas une menace pour la vie et un obstacle pour la santé et les progrès des population, De manière générale la sante de l' homme est altérée si l'eau dont il dispose est de mauvaise qualité ou bien si elle est polluée par des agents pathogènes, Actuellement on remarque que les maladies liée à l'eau sont de plus en plus répondues et qu'elles présentent des variations considérables sur le plan de leur nature et de leur mode de transmission. [5]

I.1.2.Définition de l'eau

L'eau c'est la vie [6]. Présente dans toutes les traditions et religions du monde, l'eau est un élément primordial du patrimoine culturel de l'humanité à travers les mythes et les symboles. Ceux liés à l'eau entourent la création des formes terrestres, la naissance, la vie, le renouveau et la mort. Les sciences, l'art et les civilisations même ne sont pas pensables sans la présence de l'eau. [7] L'eau à accompagner la vie des êtres humains .Elle est au cœur de notre pratique sociale, économique et sanitaire ; l'eau s'inscrit au cœur même du vivant et conditionne la civilisation humaine [7]. H_2O est la formule chimique de cette molécule, elle est composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène. L'eau est complexe, mystérieuse, inexploquée, exotique, exceptionnelle, particulière, et aussi c'est un élément rebelle, souple, labile et versatile au regard des autres liquide ; il se contracte quand on le chauffe, devient moins visqueux quand on le comprime et sa densité augmente en passant de l'état liquide à l'état solide [7].

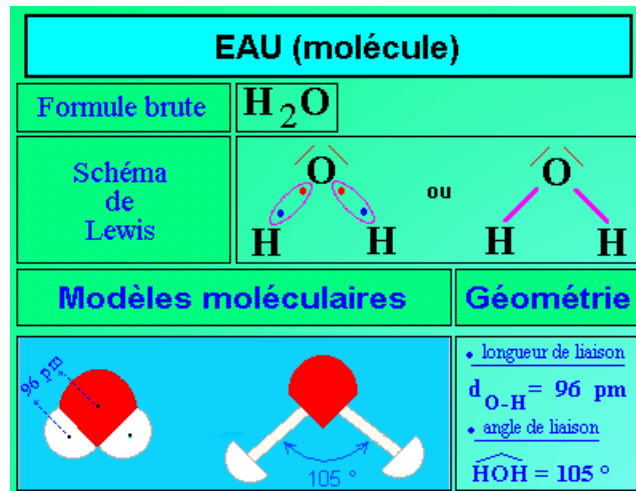


Figure I.1.1: la molécule d'eau

I.1.3.Origine et différents types d'eau

Sans rentrer dans les détails de l'origine des eaux et les relations entre leur composition, nous pouvons envisager selon le mode de gisement, deux sources principales d'eau :

- Les eaux superficielles : les eaux des oueds, des lacs, des océans et des mers.
- Les eaux souterraines accumulées dans les nappes.

Et sans empiéter encore sur les études particulières portant sur les types d'eau, lesquelles établissent précisément une certaine corrélation entre composition et origine, nous pouvons distinguer:

- Les eaux naturelles
- Les eaux potables
- Les eaux douces
- Les eaux dures
- Les eaux de marais
- Les eaux saumâtres
- Les eaux salées.

I.1.3.1.Eaux naturelles

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surface stagnantes (lacs, retenues de barrage) ou en écoulement (rivières, fleuves) et des eaux de mer [8].

I.1.3.2.Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol et se caractérise par une turbidité faible ou leurs eaux bénéficient de filtration naturelle importante. Comme elle se caractérise par une contamination bactérienne faible, car elle est habituellement à l'abri des sources de pollution. Par conséquence la dureté est souvent élevée, et les eaux souterraines peuvent être en contact avec des formations rocheuses contenant des métaux bivalents comme le calcium ou magnésium. En plus, dans les eaux souterraines, le fer et le magnésium présentent une concentration élevée [9].

I.1.3.3.Eaux de surfaces

Par opposition aux eaux souterraines, l'eau de surface est l'eau qui se trouve à la surface ou proche de la surface du sol. Dans une zone donnée, il s'agit pour l'essentiel des cours d'eau, des océans, des lacs et des eaux de ruissellement qui s'y trouvent. Sa température varie en fonction du climat et des saisons. Ces matières en suspension sont variables selon la pluviométrie, la nature et le relief des terres à son voisinage. Sa composition en sels minéraux est variable en fonction du terrain, de la pluviométrie et des rejets. Une eau de surface est ordinairement riche en oxygène et pauvre en dioxyde de carbone [9].

I.1.3.4. Eaux potables

La notion de potabilité est liée directement à l'alimentation humaine. Une eau naturelle est dite potable si elle présente les qualités suivantes :

- Fraîcheur et limpidité
- Absence d'odeur et de couleur
- Goût agréable

- Suffisamment douce, aérée
- Minéralisation raisonnable
- Absence de matières organiques et de germes pathogènes [9].

I.1.3.5.Eaux douces

On parle d'eau douce par opposition aux eaux salées et aux eaux dures [9].

I.1.3.6.Eaux dures

Une eau dure incruste à froid ou à chaud les récipients qui la contiennent. La dureté est engendrée par la présence des ions calcium ; magnésium, et un à degré moindre le fer et l'aluminium [9]

I.1.3.7.Eaux de marais

Les eaux de « marais » ou « tourbier » sont des eaux douces caractérisées par une faible valeur de pH, due à la présence d'acides organiques et qui les rend très corrosives. On les appelle parfois « eaux rouges » en raison de la présence des particules à base d'oxyde de fer en suspension [9].

I.1.3.8 .Eaux de mers et eaux saumâtres

La salinité observée dans les différents océans ou mers du globe résulte d'un équilibre entre évaporation, pluies et apport des fleuves (salinité faible) d'une part et d'échange d'eau avec les autres mers ou océans auxquels ils sont reliés d'autre part. [9]

Une eau saumâtre est une eau dont la teneur en sel est sensiblement inférieure à celle de l'eau de mer. La concentration totale de sel dissous y est généralement comprise entre 1 et 10 g/l alors qu'elle est (en moyenne) de 35 g/l pour l'eau de mer. Dans les estuaires maritimes, la conjonction des courants d'eau douce avec l'eau de mer donne naissance à des poches d'eau saumâtre.

I.1.4.Définition de l'eau de mer

L'eau de mer est l'eau salée des milieux marins et océaniques. Elle est une solution saline dont la concentration des sels minéraux dissous avoisine 35 parties pour mille (35 g/L) en

moyenne .sa principale substance chimique est le chlorure de sodium (le sel cuisine), mais 79autres élément la compose. [10]

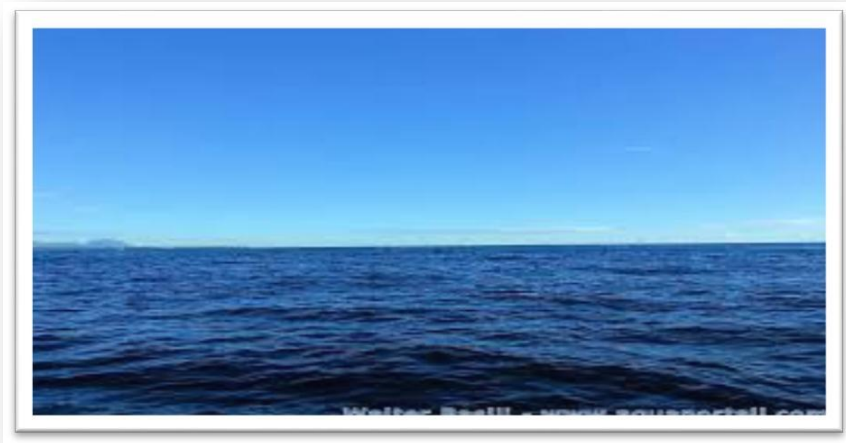


Figure I.1.2 : l'eau de mer de la méditerrané

I.1.5. les compositions chimiques de l'eau de mer

L'eau et les sels constituent les premiers les composants les plus dominants dans l'eau de mer. Cependant, l'on y trouve également 11 autres substances chimiques en faible quantité à savoir le chlorure, le sulfate, le bicarbonate, le fluorure ion sodium, l'ion calcium, l'acide borique, l'ion potassium, le bromure, le carbone. En réalité, deux tiers des éléments chimiques présentes dans la nature se retrouvent aussi dans l'eau de mer. Toutefois, hormis ces 11éléments chimiques cités, ils sont presque indécélables du fait de leur trop faible proportion.

Tableau I.1.1 : Concentration des éléments principaux pour une eau de mer de salinité de 35% [11]

Elément	Concentration (mg/kg)	Eléments	Concentration (mg/kg)
Chlorure (Cl^-)	19353	Sodium (Na^+)	10160
Sulfate (SO_4^{2-})	2712	Magnésium(Mg^{2+})	1249
Bicarbonate(HCO_3^-)	142	Calcium(Ca^{2+})	413
Bromide (Br^-)	67	Potassium(K^+)	387
Fluoride (F^-)	1 4	Strontium(Sr^{2+})	8
Bore			

La teneur en sels dans l'eau de mer varie entre30et 40 g/L. Quoi qu'il en soit, tous les constituants présents dans la composition de l'eau de mer conservent des proportions

relativement stables, qu'importe la salinité. Il s'agit-là d'une autre grande particularité de l'eau de mer (prouvé par le chimiste Allemand William Dietmar). L'eau de mer renferme aussi des gaz dissouts comme l'azote, le dioxyde de carbone ou encore l'oxygène. La décomposition de certaines algues sont à l'origine du sulfure de diméthyle(DMS) qui donne à l'eau de mer son odeur iodé.

I.1.6. les caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer

Les principales caractéristiques physico-chimique de l'eau de mer sont présentées comme suit:

I.1.6.1.Caractéristiques chimiques

I.1.6.1.1.Salinité

La salinité des mers ouvertes sur les masses océanique (Atlantique, Manche, mer du nord, pacifique) est de l'ordre de 35 g/L et c'est cette valeur qui est considérée comme salinité standard de l'eau de mer. Des variations plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitation- évaporation. La salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou ouvertes sur les masses océaniques (Tableau):

Tableau I.1.2: salinités des eaux de mer.

Mer ou Océan	Salinité en g/L
Mer rouge	40
Mer Méditerranée	36 à 39
Mer Baltique	7
Mer Caspienne	13
Mer Morte	270
Golfe arabo-persique	40à70
Mer Noire	20
Mer des Caraïbes	35

Toutefois, dans le cas des mers ouvertes, la proportion des différents sels en présence est relativement constante. En particulier, la somme des ions chlorures et sodium représente environ 85% du poids total des sels. par contre, dans les mers fermées ou les grands lacs salés, la concentration par évaporation à partir d'apports d'eaux de surface faiblement salées mais relativement différentes de celle de l'eau de mer, conduit quelque fois à des compositions ioniques très particulières. [12]

I.1.6.1.2.L'alcalinité

A l'inverse de l'acidité, l'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes. [13]

I.1.6.2.Caractéristiques physiques**I.1.6.2.1.La température($T^{\circ}\text{C}$)**

L'eau de mer est, en général, plus ou moins froide suivant la latitude .chaude à l'équateur (26°C en surface dans l'océan, plus de 30°C dans les mers intérieures l'été), froide aux pôles (1 à 3°C) en surface .L'océan indien à latitude égale est plus chaud que l'Atlantique.la même la titu de dans un même océan les températures sont différentes.

Dans l'hémisphère sud le phénomène est inverse : ce sont les façades ouest des continents qui sont plus froides que les cotes Est .Les différences de température sont également importantes suivant les profondeurs. Les couches superficielles de la mer peuvent être réchauffées ou refroidies par l'air ambiant. Dans les régions polaires, la température des eaux est plus basse au pôle Sud qu'au 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). [14]

I.1.6.2.2.La masse volumique

La masse volumique varie avec la température et la pression. Elle passe par un maximum à environ 4°C . Cette propriété entraîne diverses conséquences, aussi bien dans la nature que dans les stations de traitement. L'eau est considérée comme un fluide incompressible. [15]

I.1.6.2.3.Le pH

Les variations de PH ont une certaine analogie avec celle d'oxygéné dissous. Ceci s'explique en considérant l'activité synthétique de certains organismes : une forte production d'oxygène s'accompagne d'une diminution de la teneur en CO_2 et par conséquent d'une augmentation du PH ; l'oxydation de la matière organique diminue la teneur en oxygène de l'eau en produisant

du CO_2 et par conséquent abaisse le pH. Dans certaines conditions le PH peut prendre des valeurs particulières. Notamment dans les bassins isolés où il peut y avoir production d' H_2S . Le PH peut approcher des valeurs voisines de 7 ou tomber à des valeurs nettement plus acides.

Le PH des eaux de mer décroît avec une augmentation de température. Pour une eau chlorite de 19.5‰ et de $\text{PH}=8$, une élévation de température de 1°C , entre 10°C et 20°C , diminue le PH de 0,0109. De même, une augmentation de pression de 100 bars produit une diminution du PH de l'ordre de 0.02. [16]

I.1.6.2.4. La viscosité des eaux de mer

C'est la propriété que présente un fluide (liquide ou gaz) d'opposer une résistance aux divers mouvements soit internes (exemple : turbulence), soit globaux (exemple : écoulement). Elle est à la base des pertes de charge et joue donc un rôle important en traitement d'eau. Elle diminue lorsque la température croît. Par contre, elle augmente avec la teneur en sels dissous ; l'eau de mer est donc nettement plus visqueuse que l'eau de rivière. [17]

Parité 2 : Généralité sur dessalement

I.2.1. Introduction

Les ressources en eau douce dans le monde sont en diminution sous l'effet de la croissance démographique, de l'expansion de l'activité industrielle et du changement climatique. Le manque d'eau potable concerne principalement quelque pays ayant des réserves limitées ou bien se trouvant dans des zones arides telles que Moyen-Orient, ou l'Afrique du Nord. Ces pays ont eu recours au dessalement de l'eau de mer pour satisfaire leurs besoins. En effet, l'eau disponible sur notre planète se trouve à 97% dans les mers et les océans. Elle doit alors être traitée pour être rendue potable. L'homme a commencé par produire des petites quantités à partir de simples bouilleurs pour arriver au cours des dernières années à une production de $815120\text{m}^3/\text{jour}$.

I.2.2.Définition de dessalement

Le dessalement de l'eau (également appelé dessalage ou désalinisation) est un processus qui d'obtenir de l'eau douce. (Potable ou plus rarement en raison du cout, utilisable pour l'irrigation), à partir d'une eau saumâtre ou salée (eau de mer). En dépit du nom, il s'agit rarement de retirer le sel de l'eau, mais plutôt, à l'inverse, d'extraire de l'eau douce. [18].

I.2.3.Les principe de dessalement

Les principes de dessalement d'eau de mer se fait en quatre étapes :

- La captation de l'eau de mer
- Le prétraitement
- Les différents procédés de dessalement
- Le post traitement ou minéralisation

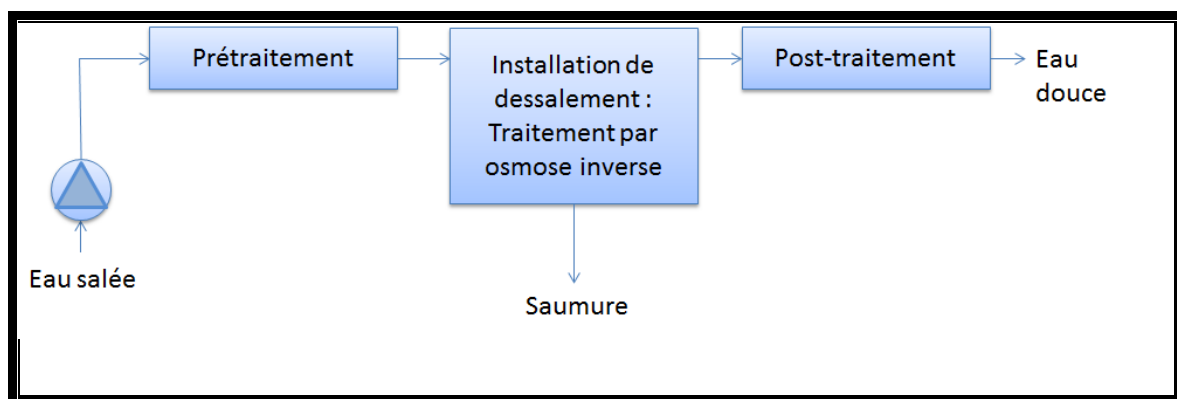


Figure I.2.3 : Schéma générale d'une installation de dessalement

I.2.3.1.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 .sont utilisés dans cette étape deux types de technologies :

➤ **Les forages côtiers**

Soit verticaux soit sous forme de galeries horizontales permettant d'obtenir une eau de très bonne qualité et relativement stables.

➤ **La prise d'eau de mer**

Peut être faite en pleine mer. Dans le cas idéal, le captage doit être effectué en zone profonde, éloigné de la cote, protégé des pollutions et des forts courants. [17].

I.2.3.2.Le prétraitement

Le prétraitement de l'eau de mer avant osmose inverse est absolument nécessaire car les membranes d'osmose inverse sont très sensibles au colmatage et une bonne qualité de l'eau en entrée des modules d'osmose inverse est indispensable pour assurer des performances stables de l'osmose inverse sur le long terme. Les procédés de prétraitement peuvent être divisés en deux catégories : les prétraitements physiques et les prétraitements chimiques.

- ✓ Les prétraitements physiques incluent les pré-filtres mécaniques, les filtres à cartouche, la filtration à sable et la filtration membranaire.
- ✓ Le prétraitement chimique consiste en l'addition d'inhibiteurs d'entartrage. De coagulants, de désinfectants et de poly-électrolytes. [19].

I.2.3.2.1. Coagulation – floculation

La coagulation permet de favoriser l'agglomération des colloïdes en diminuant les forces de répulsion électrostatique (liées aux charges superficielles). La floculation consiste à agglomérer ces particules en micro-flocs puis en flocs plus volumineux décanales. Les substances les plus couramment utilisées sont :

- **Pour la coagulation** : la chaux, l'alun, le sulfate ferrique et le chlorure ferrique.
- **Pour la floculation** : les polymères organiques à longues chaînes de masse molaire élevée. [20].

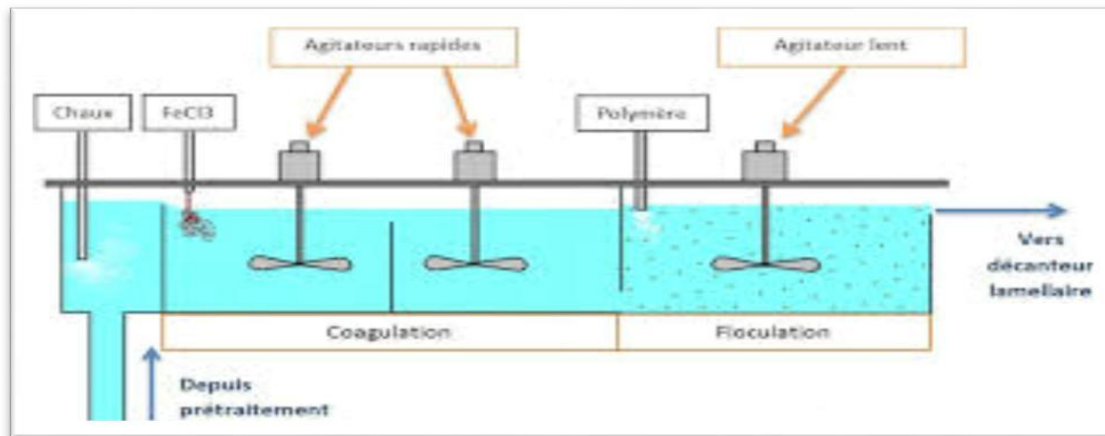


Figure I.2.4 : Coagulation –floculation

I.2.3.2.2. Filtration

La filtration est un procédé destiné à clarifier un liquide qui contient de MES en le faisant passer à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire. En effet, il subsiste de très petites particules présentes à l'origine dans l'eau brute ou issues de la floculation. La rétention de ces particules se déroule à la surface des grains grâce à des forces physique. La plus ou moins grande facilité fixation dépend étroitement des conditions d'exploitation du filtre et du type de matériau utilisé. La filtration permet une élimination correcte des bactéries, de la couleur et de la turbidité. [21]

I.2.3.2.3. Le traitement chimique

Après filtration à sable, des équipements de dosage font partie de prétraitement chimique appliqué à l'eau de mer avant l'entrée dans les membranes (acidification, addition de bisulfite de sodium et dosage d'anti-incrustant). [22].

I.2.3.2.4. la filtration de sécurité ou microfiltration

La microfiltration est assurée par l'utilisation d'un filtre à cartouche type bobiné. Entre le collecteur d'entrée et de sortie, il y'a un manomètre différentiel muni de contact électrique pour alarme, qui indiquera quand il sera nécessaire de remplacer les cartouches filtrantes. [12]

I.2.4. Les procédés de dessalement

Plusieurs méthodes permettent la séparation de l'eau de mer en une eau douce contenant une faible concentration des sels dissouts, et une solution concentrée en sels. On citera notamment la distillation, l'osmose inverse, la congélation et l'électrodialyse. Cependant, les deux technologies utilisées actuellement, à l'échelle industrielle, sont celles basées sur la distillation et l'osmose inverse. [23]

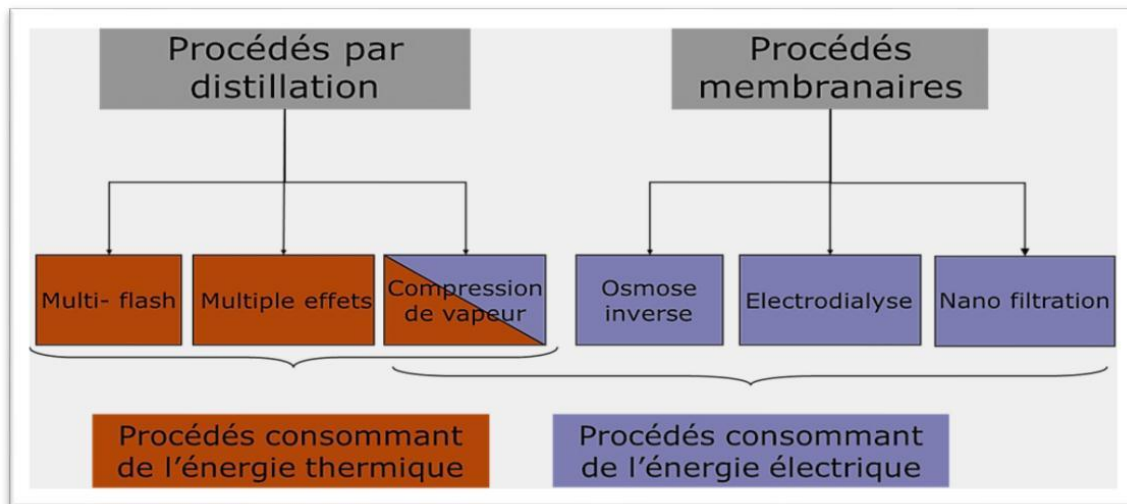


Figure I.2.5: principaux procédés industriels de dessalement

I.2.4.1.1. distillation à simple effet

Son principe est simple : il reproduit le cycle naturel de l'eau.

- Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer.
- La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide.
- Un groupe électropompe soutire l'eau condensée ; un deuxième l'eau de mer concentrée ou saumure.

Cette première solution est simple à mettre en œuvre mais n'offre qu'un rendement réduit, aussi elle n'est utilisée que dans les navires disposant d'une source d'énergie thermique.

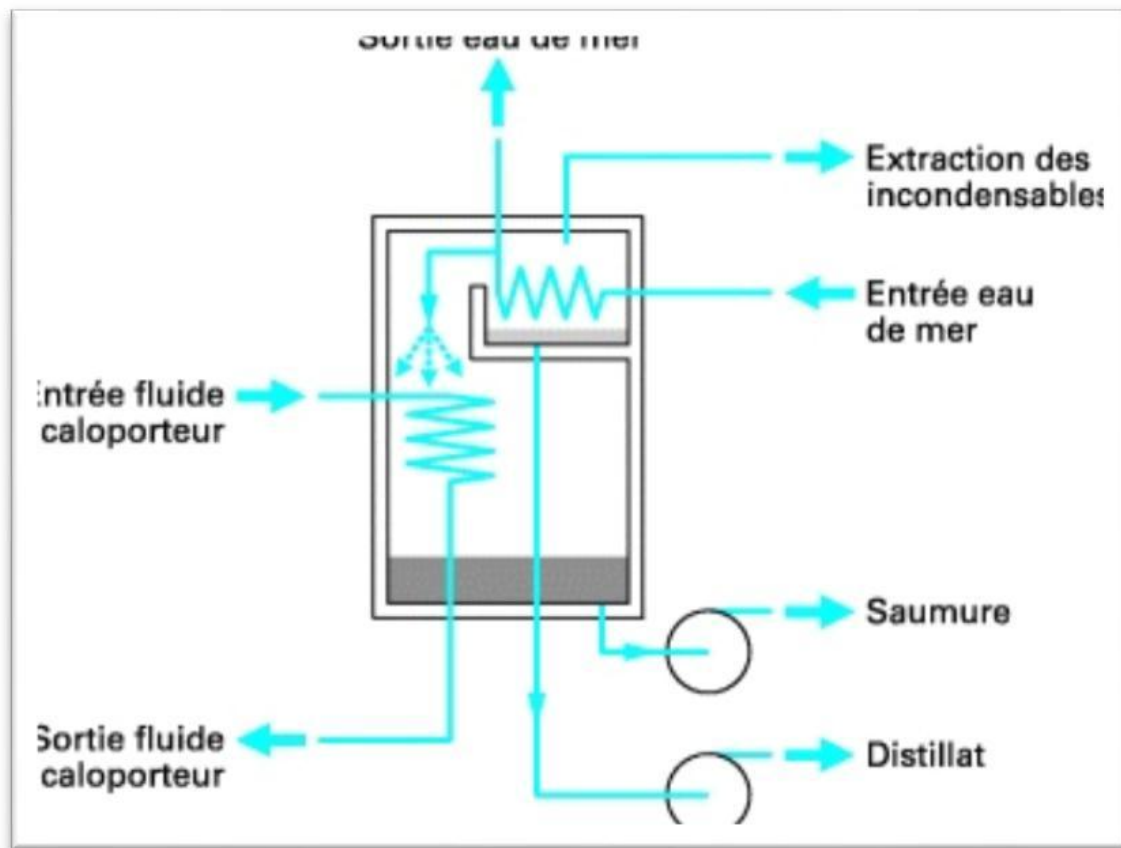


Figure I.2.6 : Distillateur simple effet. [24]

I.2.4.1.2. Distillation multi-flash

L'intérêt du multi-flash réside dans son faible coût énergétique. En effet, plus la pression est basse, plus la température à laquelle l'eau passe à l'état gazeux est faible. Pour ce procédé, l'eau de mer est envoyée dans des conduits au bout desquels est chauffée à 120°C , puis elle est ensuite introduite dans un compartiment où régné une pression réduite (sa température d'ébullition est donc plus basse). [25]

L'eau est alors instantanément transformée en vapeur par détente appelée Flash. La vapeur ainsi créée va monter au contact des premiers conduits dans lesquels passent l'eau de mer. Les conduits sont assez froids ce qui provoque la condensation de cette vapeur qui est alors récupérée à l'état liquide. Pour l'eau qui ne s'est pas évaporée dans ce compartiment, elle est récupérée puis transférée dans un deuxième compartiment du même type mais avec une pression atmosphérique encore plus basse. Et ainsi l'opération est répétée plusieurs fois à la suite (d'où le nom de multi-flash). Il existe des usines de dessalement dans lesquelles l'opération se répète dans 40 compartiments. [25]

I.2.4.1.3. Distillation à multiples effets (MED)

L'évaporateur MED est constitué de plusieurs cellules simple consécutives, des lesquelles on diminue la pression (et la température) du premier (chaud) au dernier (le froid), Chaque cellule (aussi appelé effet) contient un faisceau de tubes, Le sommet du faisceau est arrosé avec l'eau de mer qui coule autour des tubes par gravité. La chaleur cède lors de la condensation réchauffe l'eau de mer à l'extérieur des tubes qui s'évapore en partie, Après l'évaporation, l'eau de mer se concentre en donnant de la saumure au fond de la cellule. La vapeur créée par l'évaporation de l'eau de mer est utilisée comme moyen de chauffage pour l'effet suivant où le processus se répète. Dans la dernière cellule, la vapeur produite se condense dans un échangeur thermique, Cet échangeur, est rafraîchi par l'eau de mer. À la sortir du condenseur final, la partie de l'eau de mer réchauffée est utilisée pour alimenter l'unité, l'autre partie est rejetée à la mer.

La saumure et le distillat sont collectes dans chaque cellule d'où ils sont extraits par des pompes centrifuges. Cette solution apporte une amélioration du rendement par rapport à la première.

Une amélioration significative de l'efficacité du système est apportée par la 'compression de vapeur (MED-TVC) [24]

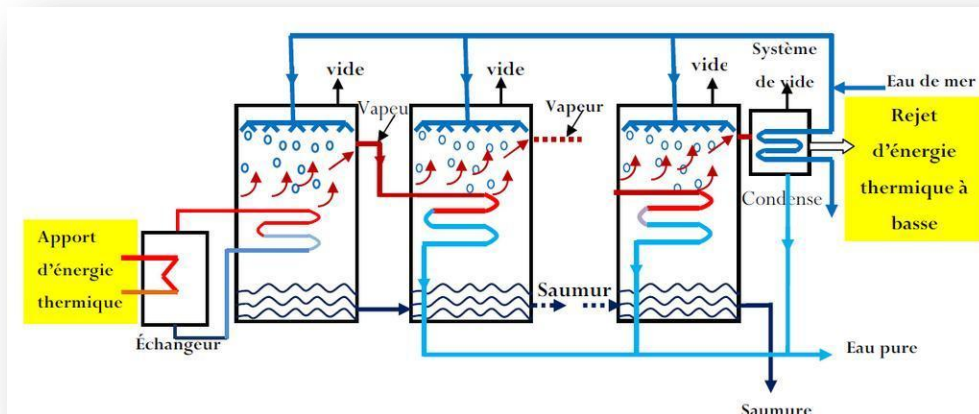


Figure I.2.7 : Distillateur à effets multiples. [25]

I.2.4.1.4. Distillation couplée à l'énergie nucléaire

Le choix d'un procédé de dessalement va dépendre du site choisi, de la capacité de l'installation, des conditions spécifiques. De même le choix de la source d'énergie sera influencé par les spécificités du projet. Le dessalement est un processus qui exige beaucoup d'énergie, une stratégie du futur fondée uniquement sur des ressources fossiles n'est pas souhaitable. Le nucléaire n'émettant pas de gaz nocifs pour l'environnement tels que : CO₂, NO_x, SO_x permet de s'inscrire dans le domaine du développement durable. De plus l'énergie nucléaire est très compétitive, d'un coût 10 à 80% inférieur à une option conventionnelle de référence (centrale à charbon à lit fluidisé circulant). [26]

Un réacteur peut fournir l'énergie nécessaire aux procédés de dessalement soit sous forme de chaleur (distillation à effets multiples, distillation par détentes successives) soit sous forme électrique (compression de vapeur, osmose inverse), sachant que l'intégration de tout procédé nécessite de l'électricité pour le pompage et d'autres services. A titre d'exemple un réacteur REP 900 couplée à une installation de dessalement par osmose inverse pourrait produire 5 millions de m³/ jour avec un taux de charge de 90%.

I.2.4.2. Procédés membranaires

Au lieu d'extraire par évaporation l'eau douce de l'eau de mer, on peut envisager une séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes sélectives. Deux procédés utilisant de telles membranes sont actuellement commercialisés. Ce sont l'électrodialyse et l'osmose inverse. Une membrane est une interface physique, de faible épaisseur, qui contrôle le transfert d'espèces chimique entre les deux milieux qu'elle sépare. Cette interface peut être homogène au niveau moléculaire, uniforme en composition et structure, ou elle peut être chimiquement et physiquement hétérogène, contenant des pores de dimension finie ou contenant des couches superposées. Les membranes se présentent sous forme de film plans (feuilles), spirale, tubes ou fibre creuses, elles sont mise en œuvre dans des modules regroupant un ou plusieurs éléments de basse. [27]

I.2.4.2.1. osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de filtration tangentielle qui permet l'extraction d'un solvant, le plus souvent l'eau, par permutation sélective à travers une membrane dense sous l'action d'un gradient de pression. Elle s'oppose au phénomène naturel d'osmose qui tend à transférer le solvant d'une solution diluée vers une solution concentrée mises en contact par une membrane sélective sous l'action du gradient de concentration (figure I.2.8). Lorsqu'une pression est appliquée sur le compartiment le plus concentré, le flux de solvant diminue jusqu'à s'annuler pour une pression égale à la pression osmotique de la solution. Lorsque la pression appliquée est supérieure à cette pression osmotique, le flux s'inverse c'est le phénomène d'osmose inverse. La pression efficace correspond donc à la pression de part et d'autre de la membrane (pression transmembranaire, p_{tm}) diminuée de la différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane. [28]

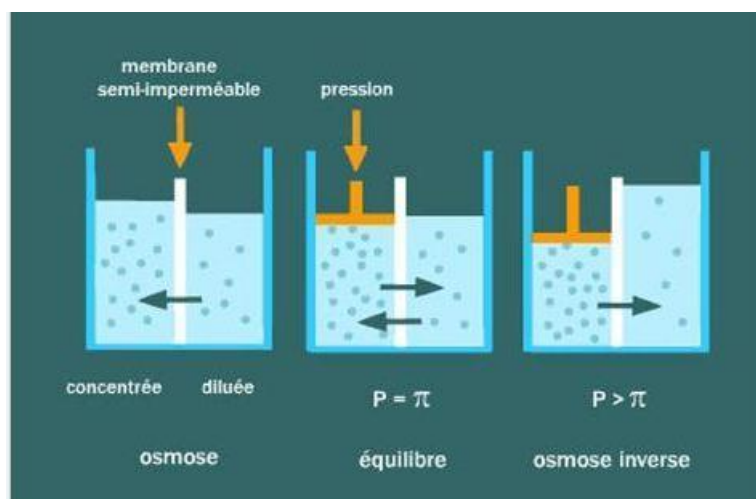


Figure I.2.8 : Principe des phénomènes d'osmose et l'osmose inverse.

Pour les solutions diluées, considérées comme thermodynamiquement idéales, la pression osmotique est calculée à partir de l'équation de Van 't Hoff. [17]

$$\Pi = C \cdot R \cdot T$$

Π : pression osmotique de la solution Pa

C : concentration de la solution, mol. m

R : constante des gaz parfaits, $8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

T : température, K

Les membranes d'OI sont des membranes denses et pour obtenir des flux de transfert élevés et vaincre la pression osmotique des solutions traitées, des pressions relativement élevées doivent être utilisées. Les applications principales de l'Osmose inverse sont l'élimination de sels organiques ou inorganiques ou des molécules dans l'eau. Les membranes d'osmose inverse se présentent aujourd'hui presque exclusivement sous forme des modules spiralés qui sont des cylindres multicouche constitués d'une superposition de feuillets de membranes enroulés autour d'un tube percé qui collecte le perméat (Figure I.2.9). Ce dernier s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube central tandis que le retentât circule le long de l'axe dans les canaux formés par les feuillets de membranes. Il existe également des modules en fibres creuses. Les membranes sont en général en polyamide, aromatique déposée sur un support poly sulfone sur polyester, présentant une meilleure tenue mécanique, chimique et thermique et générant des densités de flux plus élevées. Elles sont donc en général composées de 3 couches (Figure I.2.10) :

- La base ($\sim 100\mu\text{m}$), formée d'un matériau inerte type textile tissé ou non (ex : polyester téréphtalique), assure la résistance physique du film .Elle est trop grossière pour permettre le dépôt en couche mince de la partie active.
- Le support ($\sim 50\mu\text{m}$) est une membrane d'ultrafiltration aux plus fins, calibrés (ex : poly sulfone). Il assure la résistance mécanique de l'ensemble.
- La couche active superficielle ($\sim 0,1$ à $0,2 \mu\text{m}$) permet la séparation des espèces .Elle est déposée sur le support .Le polymère le plus employé est le polyamide aromatique .Il est traité différemment selon les fabricants et les modèles employés.

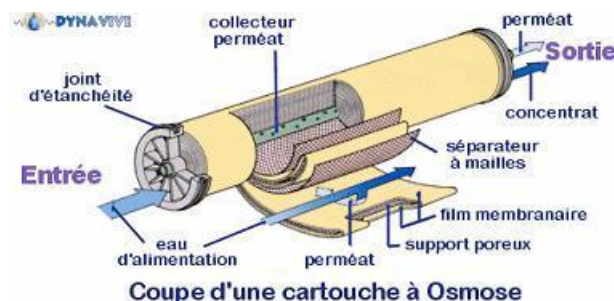


Figure I.2.9 : module spirale. [21]

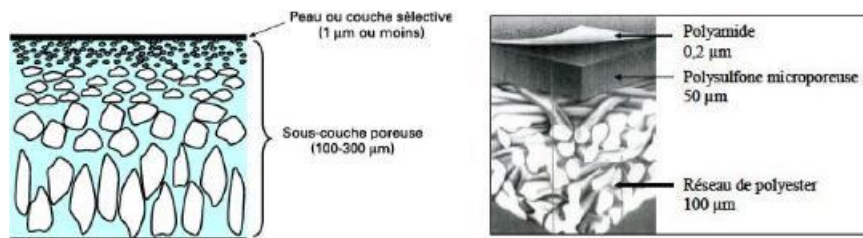


Figure I.2.10 : structure des membranes d'osmose inverse. [14]

Tableau I.2.3: Avantage et inconvénients des procédés de dessalement d'eau de mer.

	Avantage	inconvénients
Distillation	• Indépendance à la variation qualité d'eau brute. • Utilisation pour des grandes capacités de producteur d'eau • Exploitation relativement ai • Une eau produite présentant TDS faible requis particulièrement pour les besoins industriel.	• Un taux de conversion bas (inférieur à 35%). • Une consommation spécifique d'énergie relativement élevée (8 à 25 kWh/m³ selon le procédé). • Un non flexibilité par rapport à la variation de la demande en eau. • Un coût d'investissement élevé.
Osmose inverse	• Un taux de conversion élevé (supérieur à 55%). • Une consommation spécifique d'énergie basse (3 à 5 KWH/m. • Un coût d'investissement relativement bas. • Une durée de mise en œuvre réduit.	• Sensibilité à la variation de la qualité d'eau brute et surtout aux pollutions. • Nécessite d'un personnel qualifié. • Exploitation relativement difficile surtout au niveau du prétraitement. • Un coût de maintenance élevé dus aux frais de renouvellement des membranes d'une durée de vie ne dépassant pas 7 ans à présent.

I.2.4.2.2. Electro dialyse

L'électrodialyse a été introduite en 1960 ; c'est un procédé électrochimique qui permet d'extraire les ions contenus dans une solution. Elle est définie aussi comme étant une technique de séparation membranaire qui utilise un champ électrique pour déplacer des ions, les cations vers la cathode et les anions vers l'anode.

Une cellule d'électro dialyse est composée de compartiments séparés par des membranes ; certaines membranes (C) sont perméables aux cations, les autres (A) aux anions, La solution à électrodialyse est soumise à un champ électrique, ce qui va faire migrer le sel dans certains compartiments et diminuer la concentration dans les autres. On distingue trois types d'électrodialyse :

- L'électrodialyse dite conventionnelle (ED).
- L'électrodialyse à membrane bipolaire (EDMB).
- L'électrodialyse à membranes (EM).

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

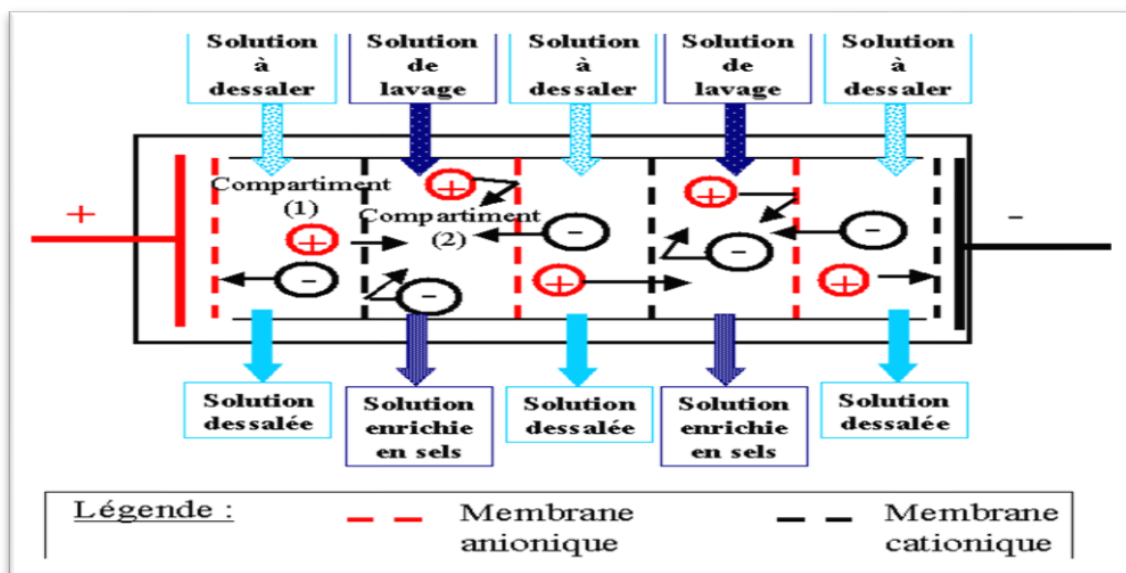


Figure I.2.11 : Cellule élémentaire d'électrodialyse.

Tableau I.2.4 : Comparaison entre les procédés membranaires. [26]

Désignation	OI	ED
Energie utilisée	Mécanique (via électricité)	Electrique
Température de fonctionnement (°C)	<45	<45
Consommation électrique (KWh/m ³)	4 à 7	1
Salinité de l'eau brute (g/L)	1à 45	0.1 à 3
Salinité de l'eau traitée (g/L)	<500	<500
Capacité d'un train (m ³ /J)	1-10 000	1-12000

I.2.5. problèmes techniques rencontres en dessalement

Les problèmes rencontres dans les différents procédés de dessalement sont principalement liés à l'utilisation de solution salines concertées ou à la production d'eaux agressives (excès de gaz carbonique par rapport à l'équilibre), ce sont la corrosion, l'entartrage et le colmatage.

I.2.5.1. Entartrage

C'est un dépôt de sels minéraux qui a tendance à se former sur les surfaces d'échanges. Compte tenu des ions présents dans les eaux salines (calcium, magnésium, bicarbonate, sulfate), ces dépôts sont constitués principalement par du carbonate de calcium (CaCO_3), de l'hydroxyde de magnésium [$\text{Mg}(\text{OH}_2)$] et du sulfate de calcium (CaSO_4). Il existe différents moyennes de lutte contre l'entartrage :

- La décarbonatation à la chaux.
- La décarbonatation à l'acide.
- La germination.
- L'adoucissement sur résines.
- Les inhibiteurs d'entartrage.

Dans la plupart des installations, ce dernier procédé est le plus souvent utilisé, On y utilise des poly phosphates, des organons-phosphates, des polymères carboxyliques.

I.2.5.2.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. [27] Le développement de microorganisme, dans les parties des installations ou les conditions physico-chimiques le permettent, peut accentuer le phénomène par suite de la formation de films biologique sur les surfaces de transfert. [28] 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.

I.2.5.3.corrosion

Il existe différentes corrosions liée au milieu marin :

- **La corrosion galvanique** : due aux effets galvaniques des métaux dans un électrolyte.
 - **La corrosion généralisée** : diminution uniforme d'épaisseur.
 - **La corrosion par piqûres** : elle se déclenche immédiatement après immersion du métal dans l'eau de mer.
 - **La corrosion inter granulaire** : due à précipitation des carbures dans les joints de grains.
- A cet effet, il est impératif d'envisager des matériaux spécifiques pour le dessalement d'eau de mer.

Chapitre II

Chapitre II : Dessalement en l'Algérie et son effet sur l'environnement

II.1.Introduction

Comme l'Algérie, les pays méditerranéen utilisent majoritairement l'osmose inverse pour dessaler l'eau de mer. La technique du dessalement de l'eau de mer est répandue dans les pays arides comme ceux du proche et Moyen-Orient, qui fournissent la moitié de la production Mondiale d'eau dessalée.

Le dessalement sera un jeu majeur partout dans le monde. Cependant il ne faut pas négliger l'impact écologique des rejets de concentrât. parmi les impacts dus à une usine de dessalement, il y a qui se limitent à la phase de construction et ceux qui sont liés à la phase d'exploitation .les impacts commencent avec la transformation de l'occupation du sol, puis continuent avec des conséquences visuelles et des nuisances sonores pour s'étendre à des émissions dans l'atmosphère et des rejets dans l'eau ainsi qu'à des dommages potentiels pour le milieu récepteur. Les activités de construction et d'exploitation peuvent se traduire par une série d'impacts sur les zones littorales affectant notamment la qualité d'eau, la flore et la faune marine....

II.2.Dessalement en Algérie

L'expérience algérienne en matière de dessalement des eaux est étroitement liée au développement de l'industrie et tout particulièrement de l'industrie pétrolière et sidérurgique. En 1964, trois petits blocs de 8m³/h chacun ont été installés au complexe gaz fondu d'Arzew (ville côtière à l'Ouest du pays), et en 1969, une autre station a vu le jour à Arzew avec une capacité de production de 4560m³/J.

Dés lors de nombreuses installations de dessalement et de déminéralisation ont été mises en place en parallèle avec les nouveaux complexes .D'autres installations ont été mises en exploitation pour les besoins en eau de haute pureté nécessaire au processus des complexes de production d'électricité et l'industrie de liquéfaction .Il y a également quelques installation même dans le sud dans les bases pétrolières qui sont destinées principalement à fournir de l'eau de qualité pour la consommation humaine. [29]

L'une des stations à grande capacité est celle d'El-Hamma (fonctionnelle en 2007) à Alger produit 200 000 m³par jour (plus grande usine de dessalement rn d'Afrique). Elle permettra de couvrir le tiers des besoins en eau de la capital Alger .L'autre grand projet de dessalement en réalisation celui d'Oran (ouest du pays). Le projet de Mactaa près Mer El Hadjadj, d'une

Chapitre II : Dessalement en l'Algérie et son effet sur l'environnement

capacité estimée à 500 000 m³ par jour est considéré comme l'un des plus grands projets dans le monde.

A Tlemcen. Deux projets d'une capacité respective de 200 000 m³ par jour qui sont prévus à la commune de Souk Tlata et à Honein. Alors que Beni Saf abritera une station de 200 000 m³ et Mostaganem deux projets de dessalement de l'eau de mer de 200 000 m³.

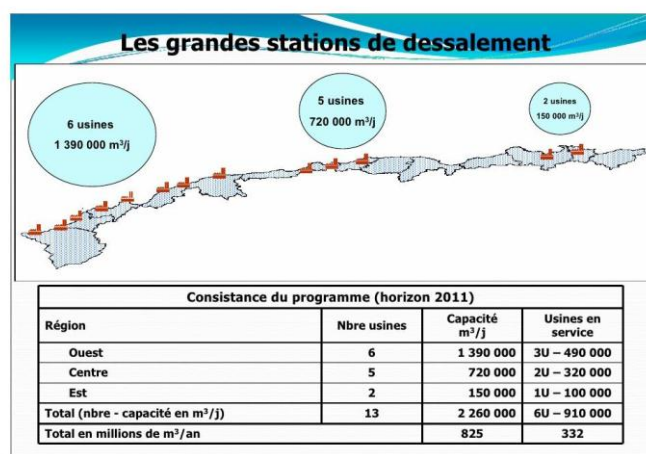


Figure II.12: le programme de dessalement d'eau de mer

Tableau II.5 : La grande unité de dessalement en Algérie.

N°	Localisation	Capacité m³/J	Population à servir	Echéancier prévisionnel
01	Kahrama(Arzew)	90 000	540 000	En exploitation
02	Hamma (Alger)	200 000	L'Algérois	En exploitation
03	Skikda	100 000	666 660	En exploitation
04	BeniSaf (Temouchent)	200 000	1333 320	En exploitation
05	Mostaganem	200 000	1333 320	En exploitation
06	Douaouda (Alger ouest)	120 000	666 660	En exploitation
07	Cap Djenet (Alger est)	100 000	666 660	En exploitation
08	Souk TLETA (Tlemcen)	200 000	1333 320	En exploitation
09	Honaine (Tlemcen)	200 000	1333 320	En exploitation
10	Mactaa (Oran)	500 000	1333 320	1 er 2014
11	El Tarf	50 000	-	-
12	Ténés	200 000	999 990	-
13	Oued Sebt (Tipaza)	100 000	-	-

Total station : 13
Capacité m ³ /J
Population : 11873220

II.3. Les avantages et les inconvénients de dessalement en Algérie

Le dessalement de l'eau de mer apporte une réponse aux besoins d'eau douce. Il présente de nombreux avantages dont :

- D'une part, il peut s'avérer très utile dans les situations d'urgence, lorsque les réserves d'eau ont subi des infiltrations d'eau salée, à la suite, par exemple, de marées salines, comme cela s'est produit récemment avec les tsunamis en Asie.
- d'autre part, l'irrigation à base d'eau dessalée est bénéfique pour l'environnement car elle permet une salinisation réduite du sol. [30]
- l'Algérie dispose d'un littoral de 1200Km.
- L'utilisation de l'eau de mer qui est une ressource pratiquement non polluante et inépuisable.
- la population ainsi que l'industrie à grande consommation d'eau se trouvent à proximité de la mer. [31]
- Le domaine de dessalement de l'eau de mer a connu ces dernières années une avancée technologique remarquable grâce au développement de différents procédés (l'osmose inverse).
- Une importante demande en eau se situe à proximité de la cote ce qui réduit davantage les prix de revient d'eau. [31]
- l'un des grandes avantages de dessalement d'eau de mer est la sécurisation de l'alimentation en eau (potable ou industrie) des différents consommateurs, car cette ressource n'obéit pas aux aléas climatiques et elle permet donc de produire d'une manière permanente les quantités voulues, des quantités journalier qui dépassent les 200000m³/jours. Toutefois, quel que soit le procédé utilise, il n'est pas sans inconvénients :
- Besoins énergétique importants.

Chapitre II : Dessalement en l'Algérie et son effet sur l'environnement

- Rejet des saumures concentrés en mer ou injectées dans le sol.
 - Empois de produits chimiques pour nettoyer les membranes.
 - Traces des métaux lourds échappés des installations.
 - Aucune législation spécifique concernant la potabilité de l'eau. [32]
 - Issue de ces traitements.
 - Un volume d'eau produite insuffisant comparé au volume d'eau de mer prélevé.
- La dégradation de l'environnement marin due à l'extraction et au rejet d'eau avec une quantité de sels très élevés (rejet des concentrât). [33]

II.4. Les différents impacts de dessalement de l'eau de mer sur L'environnement

Le dessalement de l'eau de mer a des impacts sur l'environnement qui influent principalement sur le milieu marin, ainsi que la faune et la flore aquatique, ces impacts proviennent du rejet (saumure) produit au cours du dessalement comme les produits chimiques utilisés dans le nettoyage des modules d'osmose inverse. [34] Le dessalement peut aussi influencer sur les équipements de la station, la qualité de l'air et la lumière.

II.4.1. Effets dus au prélèvement d'eau de mer

Les usines de dessalement de l'eau de mer ont des dispositifs d'admission situés au large qui leur permettent de prélever de grosses quantités d'eau à proximité de certains habitats marins. Ce processus comporte des impacts potentiels pour la flore et la faune de la zone concernée. [34].

Des tambours tamiseur sont souvent disposés entre le dispositif d'apport et les pompes d'alimentation afin d'empêcher des débris flottants, des organismes marins volumineux et autres matières de pénétrer dans le circuit de prétraitement de l'usine de dessalement. En général, le maillage de ces tambours tamiseurs est de l'ordre 5mm, afin d'empêcher l'apport de la plupart des poissons et autres organismes marins. Cependant, le prélèvement représente deux sources potentielles d'impact, à savoir le heurt du poisson sur les tambours et l'introduction de biotes dans le circuit d'eau d'alimentation. [34]

Chapitre II : Dessalement en l'Algérie et son effet sur l'environnement

Il est notoire que le prélèvement et le tamisage de volume relativement importants provoque le heurt du poisson et d'autres organismes sur les tambours tamiseurs, avec conséquences des dommages physiques comme l'écaillage et des troubles tels qu'une désorientation. Ce phénomène entraîne une augmentation de la mortalité par maladie et une vulnérabilité accrue à la prédation. [34]

Ensuite, bien que les mailles des tambours empêchent l'apport de poissons et invertébrés de grande taille, on sait que l'introduction dans le circuit représente une menace importante pour le phytoplancton et le zooplancton. Les principaux impacts associés au passage dans les circuits de prétraitement et de dessalement, qui dépendent en grande partie de la technique adoptée pour les procédés d'osmose inverse(OI) et Multi stage flash(MSF), sont liés à des activités telles que la chloration, les lésions de cisaillement et le changement rapide de pression dans le circuit. La conséquence générale de l'entraînement d'organismes dans le circuit est une réduction du recrutement pour les habitats existants et une chute de la productivité globale de l'écosystème. [34]

II.4.2. L'influence de l'énergie dégagée par la station de dessalement sur

Qualité de l'aire

Les techniques utilisées pour le dessalement de l'eau sont très consommatrices d'énergie, même si la tendance est à la baisse, notamment grâce au développement de l'osmose inverse et d'autre technologie innovante. [35]

Cette énergie est le plus souvent fournie par des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon) qui présentent pour l'environnement l'inconvénient d'émettre des polluants atmosphériques tels que l'émission de gaz à l'effet serre(CO_2)qui provoque les pluies acides. Cependant, les usines de dessalement émettent aussi des gaz qui ne proviennent pas de la combustion de combustibles fossiles, mais qui étaient déjà dissous dans l'eau de mer. Dans les usines thermiques, l'eau d'alimentation est habituellement désaérée et gaz émanent de la saumure qui s'évapore dans les chaudières de détente. [35]

Les deux procédés (OI, MSF) augmentent les émissions de gaz carbonique (CO_2) par mètre cube (680 g/m^3) d'eau dessalée, ce qui, pour une production de plusieurs million de mètres cubes par jour (m^3/jour) se traduirait par l'émission dans l'atmosphère de plusieurs milliers de

tonnes de CO₂ par jour. [35] D'autre part l'énergie thermique ou mécanique nécessaire au processus de dessalement de l'eau de mer, sont à l'origine d'une augmentation de la température de l'eau et donc d'une température élevée de la saumure (température de saumure est environ supérieure de 10°C à 15°C). [35]

II.4.3. Effets des produits chimiques

II.4.3.1. Effets dus à 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 alliages cuivre nickel, et les autres éléments de construction comme les cuves à saumure sont souvent en acier inoxydable. [36] Dans les usines OI, c'est aussi l'acier inoxydable qui prédomine, avec des matières plastiques pour les éléments non métallique. 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. [36]

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 10 µg/L dans l'eau de mer peuvent avoir des effets considérables, mais leur toxicité dépend généralement de la biodisponibilité et de 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 0.1 à 50 µg/L dans les eaux côtières. [37] 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 matière déposée ou en suspension, le risque étant que des métaux lourds viennent enrichir leurs corps et atteignent des niveaux trophiques trop élevés. [37]

II.4.3.2. Effets dus aux 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. [34]

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. [34]

II.4.3.3. Effet des saux 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 thiols méthanes qui sont soumis à réglementation en raison de leurs effets cancérogènes. [38] 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 halo gênant les constituants organique de l'eau de mer. [37]

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 concentration (moins de 1PPm), peut avoir des incidences sur l'environnement par suite de son accumulation. [34]

II.4.4 .Rejet de saumure

La saumure est un sous-produit de dessalement inévitable, qui est déchargée, généralement dans l'environnement marin. Les implications environnementales de cette solution de sel fortement concentrée(TDS)est auteur de 70 000 ppm sur les écosystèmes marins locaux qui ont été discutées de façon contre-versée pendant beaucoup d'années. La salinité totale de saumure est de 63.8 g/L contre 38,95 g /L pour l'eau d'alimentation. [39] Par exemple, à

Chapitre II : Dessalement en l'Algérie et son effet sur l'environnement

l'usine de dessalement de Dhekelia (Chypre), qui a une capacité de production de 40 000 m³/jour. La saumure d'une salinité d'environ 72‰, est rejet dans la mer par un émissaire doté à son extrémité d'un multi diffuseur, à une profondeur d'environ 5m et à une distance de 250 m du rivage ; d'après leur étude , un accroissement de la salinité dans un rayon de 200 m à partir du rejet .De fait , la forte salinité (54‰) a toujours été décelée au point de rejet et il était possible de relever une salinité supérieure à celle de l'eau de mer (39‰) jusqu'à 200 m du rejet. [39]

II.4.5 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 (Z ,A, Sabri ,GP Laggan and R. Hagen son) , le niveau de bruit est plus de 90dB , 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. [40]

Le dessalement c'est une technique de séparation des eaux et des sels avec l'utilisation des divers procédés tels que la distillation et les procédés membranaires. Le dessalement reste une solution très importante pour diminuer la crise de l'eau et couvrir les besoins de population, par conséquent il a un ensemble des inconvénients qui influent sur les équipements et l'environnement. Les deux principaux procédés de dessalement de l'eau de mer sont MSF et OI, différent par le type de leurs impacts. Dans le cas du procédé MSF, les principaux impacts sont la chaleur, les effluents thermique et Zn, alors qu'avec OI c'est la salinité élevée de la saumure concentrée qui est environ deux fois supérieure à la salinité de l'eau d'alimentation, ce qui détruisent les organismes marins.

II.5. Impact environnementaux de la station de dessalement

II.5.1. Phase de construction

II.5.1.1. Environnement marin

Un certain nombre de mesures d'atténuation des effets sera intégré à la conception et la gestion du projet, comme suit :

Chapitre II : Dessalement en l'Algérie et son effet sur l'environnement

1- Les aspects marins du projet seront conçus pour réduire les impacts sur l'environnement benthique, en minimisant l'empreinte du sone de dragage et en choisissant une méthodologie de dragage approprié.

2 - Si des mammifères marins sont observés dans le voisinage de l'équipement en mer proposé pendant la construction, le bateau de forage et les autres bateaux de soutien éventuels devront prendre des mesures de précaution. Sauf en cas d'urgence éventuelle, les bateaux ne doivent jamais se rapprocher des mammifères marins à grande vitesse ou ne vireront brutalement de bord à proximité de ces dernières.

3 - L'emplacement et la conception de rejet devront tendre à minimiser les impacts pour le transport maritime et la navigation, afin de réduire encore les impacts, des balises de navigation seront installés pendant la construction.

II.5.1.2.Solsgéologique

Les risques de contaminations du sol pendant la construction seront minimisés grâce aux mesures suivantes d'atténuation des effets :

1 - Contrôle des déchets, du drainage du site, des ressources en eau superficielles et souterraines pour détecter la présence de métaux lourds pendant la construction.

2 -Aménagement de système technique d'évacuation du site de l'eau de ruissellement pendant la construction.

3 - Protection du sol contre toute pollution accidentelle par construction de digues autour des zones de stockage proposées pour les carburants.

4 -Contrôle des excavations pour empêcher la création de canaux d'écoulement vers les réseaux aquifère sous-jacents.

II.5.1.3. Bruit

L'entrepreneur devra veiller au respect des directives appropriées et il devra donc contrôler les niveaux sonores produits pendant la construction et adopter les mesures d'atténuations éventuellement nécessaires à savoir :

-Silencieux d'échappement sur les équipements de chantiers motorisé.

Chapitre II : Dessalement en l'Algérie et son effet sur l'environnement

-Limitation de vitesse a 30Km/h pour les engins mobiles et autres véhicules.

-Un nettoyage à la vapeur ne sera entrepris que pendant les heures de travail à la lumière de Jour.

- Les activités de construction nocturnes seront normalement limitées à des activités non bruyantes.

L'entrepreneur devra veiller au respect de la réglementation en matière de nuisance sonore pendant la construction de l'usine.

II.5.2.Phase d'exploitation

Ce titre identifie les impacts potentiels de l'exploitation de l'usine de dessalement. Les problèmes les plus importants proviendront probablement du potentiel d'impact sur le milieu marin provenant du rejet de saumure.

II.5.2.1. Impact sur flore marine provoqué par le rejet de saumure et de

Nettoyage des filtres et membranes.

Pendant l'exploitation, un mélange de saumure, d'eau de refroidissement, d'effluents de lavage des filtres et membranes est rejeté par le canal de rejet. La concentration en matière de suspension dans la saumure est d'environ 36.700-69250 ppm. Le débit de rejet est de 7.083 m³/h.

Il n'existe aucune norme algérienne ou de la Banque Mondiale en ce qui concerne le rejet de matières en suspension dans le milieu marin. En raison du taux élevé d'évaporation et des faibles apports d'eau douce, la salinité en Méditerranée occidentale est d'environ 38.000 ppm .En rejetant à la mer une saumure contenant 69.250 ppm de matières en suspension, la salinité localisée au voisinage immédiat de la canalisation de rejet augmentera.

L'effet pourra se répercuter localement sur la flore et la faune marine.

II.5.2.2. Impacts sur la faune marine provoqué par le rejet de saumure et de nettoyage des filtres et membranes

Comme pour le cas de la flore, les communautés faunistiques peuvent être affectées par les rejets de saumure.

La mobilité de la population des poissons, leur permettra d'éviter les endroits à haute salinité, et de contourner les zones boueuses provenant des opérations et nettoyage de l'installation. Il n'y a aucun impact sur les espèces des eaux libres ni les espèces de fond car les augmentations de salinité seront inférieures à 1 g/l.

Des recherches ont été élaborées sur les effets de rejets de saumure sur d'autres espèces, comme les échinodermes (*Para Centro tus livides*).

La plus part des échinodermes sont sténohalins et donc très susceptibles aux changements de salinité, par rapport à la durée d'exposition et la concentration de sels dans la colonne d'eau.

II.5.2.3. Pour les autres espèces

Des recherches ont été élaborées sur les effets de rejets de saumure sur des espèces indicatrice comme les échinodermes (*para Centro dus livides*) et mysidacés (*Le ptomysis posidoniae*) :

- La plupart des échinodermes sont sténohalins et donc très susceptibles aux changements de salinité, par rapport à la durée d'exposition et la concentration de sels dans la colonne d'eau. Les études effectuées indiquent que le groupe des échinodermes en général, et particulièrement *para Centro tus livides*, sont des organismes sessiles ou de faible mobilité et exempts de tout mécanisme d'osmorégulation efficace, ils peuvent être un bon indicateur de l'impact environnemental des rejets des unités de dessalement en milieu marin. Toujours selon ces études, la salinité qui provoque la mortalité de 50% de la population après une exposition continue durant 96 heures, a oscillé entre 40550ppm et 42830ppm.
- Les mysidacés, invertébrés de l'épifaune vagale (des animaux mobiles liés aux feuilles ou à la surface du substrat), l'effet combiné de température et la salinité ont démontré avoir un effet clair sur la mortalité de *Le ptomysis posidoniae*. Cette espèce a présenté une grande mortalité à partir de 45000 ppm et à haute température à partir de 40000 ppm. Si l'émissaire

Chapitre II : Dessalement en l'Algérie et son effet sur l'environnement

sera conçu selon la variante ayant le moins d'impact et donc une salinité inférieure à 40000 ppm l'impact est faible.

II.5.2.4.L'eutrophisation :

L'eutrophisation d'un milieu aquatique peut aboutir à son asphyxie et à la mort d'un grand nombre d'organismes vivants. Pour comprendre la raison de cette asphyxie, il est nécessaire de comprendre le processus de ce type de pollution.

Étape 1 : apport excessif de substances nutritives

Ces substances peuvent provenir d'épandages agricoles (engrais riches en azote et phosphore) ainsi que de l'utilisation de produits lessiviels riches en polyphosphates, rejetés via les eaux usées.

Étape 2 : croissance et multiplication des algues

Stimulées par cet apport nutritif, certaines algues croissent et se multiplient de manière excessive, en particulier dans les couches d'eau de surface puisque les végétaux ont besoin de lumière pour se développer.

Étape 3 : dégradation de ces algues par les bactéries aérobies

Ces algues en excès, conduisent, lorsqu'elles se décomposent, à une augmentation de la quantité de matières organiques biodégradables dans le milieu aquatique, c'est à dire une augmentation de la quantité de nourriture pour les bactéries aérobies (bactéries ayant besoin d'oxygène).

Étape 4 : asphyxie du milieu aquatique

Ayant davantage de nourriture à disposition, ces bactéries prolifèrent à leur tour, consommant de plus en plus d'oxygène. Dans le cas d'un lac profond, le fond du lac est peu oxygéné en raison d'une absence de circulation suffisante des eaux. Les bactéries finissent donc par épuiser l'oxygène des couches d'eaux profondes et ne peuvent plus dégrader toute la matière organique morte, qui s'accumule sur le fond du lac. On observe alors une différence de plus en plus marquée entre les eaux proches de la surface, très oxygénées, et les eaux profondes, totalement désoxygénées et non éclairées, car la prolifération des algues ou des plantes aquatiques (comme les lentilles d'eau) en surface empêche toute pénétration de lumière. Dans les cours d'eau rapides, en revanche, l'eau est en permanence renouvelée et mieux oxygénée ;

Chapitre II : Dessalement en l'Algérie et son effet sur l'environnement

les algues sont entraînées toujours plus loin par le courant et l'accumulation est très lente ou impossible.

Ce phénomène de dystrophisation a notamment été observé dans le lac Léman, le lac du Bourget ou encore le lac d'Annecy. Cette pollution est, depuis les années 80 en diminution, grâce à un meilleur traitement et à un détournement des eaux usées vers des cours d'eau.

II.5.2.5.Impact sur la qualité de l'eau

La concentration de chlore et autre produit chimique qui peut être rejetée à la mer est régie par une limite réglementaire qui est respectée grâce à la neutralisation avant le rejet. Par conséquent les impacts que de fortes concentrations de chlore sur la flore marine seront minimisés.

II.5.2.5.Impact sur paysage

L'usine de dessalement représente une zone continue de machines et ouvrages auxiliaires couvrant une superficie .L'usine de dessalement influence aussi sur les sites adjacents car les caractères existants du paysage est de nature touristique.

Chapitre III

Parité 1:Généralité sur l'adsorption

III.1.1. Introduction

Le terme adsorption a été proposé pour la première fois par Kayseri en 1881 pour différencier une condensation de gaz à la surface et d'une adsorption de gaz, processus dans lequel les molécules de gaz pénètrent dans la masse, en fin, le terme désorption a été proposé en 1909 par bain. Il désigne aussi bien le phénomène d'adsorption que celui de désorption [41].

III.1.2.Définition

L'adsorption est l'accumulation (concentration) à la surface d'un solide ou d'un liquide, soumis à une atmosphère gazeuse, d'ions, molécules et particules colloïdales provenant de la phase vapeur et qui modifient les propriétés physiques et chimiques. L'espèce adsorbée est l'adsorbat et la surface adsorbant est l'adsorbant [42]. Il est compréhensible que si une substance dissoute tend à diminuer la tension superficielle, et donc l'énergie interne du système, sa concentration dans la couche superficielle soit plus élevée que dans la solution elle-même.

Il existe quatre paramètres remarquables :

- **L'adsorbant** : un facteur de purification qui élimine les impuretés.
- **La molécule à adsorber** : les molécules polluantes
- **L'eau à traiter** : échantillon qui prend les molécules polluantes
- **La surface spécifique des matériaux** : les solides dans les milieux naturels (Argile, silice, ...) possèdent

III.1.3.Types d'adsorption

On distingue les types d'adsorption suivante :

III.1.3.1. Adsorption physique

L'adsorption physique ou physisorption d'un gaz ou d'un liquide (adsorbat) sur d'un solide (adsorbant) s'effectue essentiellement par des forces d'interaction molécules-surface active de type Van Der Walls, qui sont des forces attractives.

L'adsorption physique se caractérise par une chaleur d'adsorption très faible (<10kcal) avec une température basse et une réversibilité parfaite ; c'est-à-dire une augmentation de

température ou diminution de la pression en gendre l'apparition du phénomène de désorption. Par élévation de la pression, il y aura formation de plusieurs superposées [43].

III.1.3.2. Adsorption chimique

Dans le cas de l'adsorption chimique, l'adsorption est les fores d'interaction (molécules-surface active) sont pareilles à celles des liaisons covalentes, ou électrovalences. Comme les réactions chimiques, elle est soumise aux lois conventionnelles de la thermodynamique et de la cinétique et elle est caractérisée par une chaleur d'adsorption élevée (10-200kcal) [43].

L'adsorption chimique se limite à la formation d'une seule couche moléculaire contrairement à l'adsorption physique. De plus, les molécules ne seront pas adsorbées qualitativement et quantitativement de la même façon en cas d'un mélange.

Il existe deux types d'adsorption chimique :

A. Adsorption dissociative

Les molécules dont les atomes sont parfaitement saturés, s'adsorption de façon dissociative c'est-à-dire avec rupture de molécule pour former des liaisons avec la surface métallique, cas de l'hydrogène (H₂) adsorbé sur le platine réduit [43].

b/Adsorption associative

Les molécules insaturées ont la possibilité de s'adsorber sur le métal par ouverture de la liaison et formation de deux nouvelles liaisons covalentes avec la surface métallique cas de l'éthylène adsorbé sur le nickel [43].

Tableau III.1.6: différences principales entre l'adsorption physique et chimique [44].

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Type de liaison	Liaison de Van Der Waals	Liaison chimique forte (grande affinité adsorbat/adsorbant)
Chaleur d'adsorption	≤6kcal/mole	>10kcal /mole
Température du Processus	Relativement faible comparé à la température d'ébullition de l'adsorbat	Plus élevée que la Température d'ébullition de l'adsorbat
Désorption	Facile	Difficile
Spécificité	Non spécifique	Spécifique (dépend de la
La distance entre les molécules et la surface de	Grande	Petite

solide		
La vitesse d'adsorption	Rapide	Lente
Les énergies de liaisons	0 et 40 KJ/mole	>40kJ/mol
Prise de saturation	Phénomène multicouches	Phénomène monocouches
La nature d'adsorbat	La quantité d'adsorbat élevée dépend davantage de l'adsorbat que sur l'adsorbant.	Dépend de l'adsorbant et de l'adsorbat.
Chaleur d'adsorption	≤6kcal/mole	>10kcal /mole

III.1.4.Description du mécanisme de l'adsorption

L'adsorption se produit principalement en quatre étapes. La figure III.1.13 représente un matériau (adsorbant) avec les différents domaines dans lesquels peuvent se trouver les molécules organiques ou inorganique qui sont susceptibles de rentrer en interaction avec le solide.

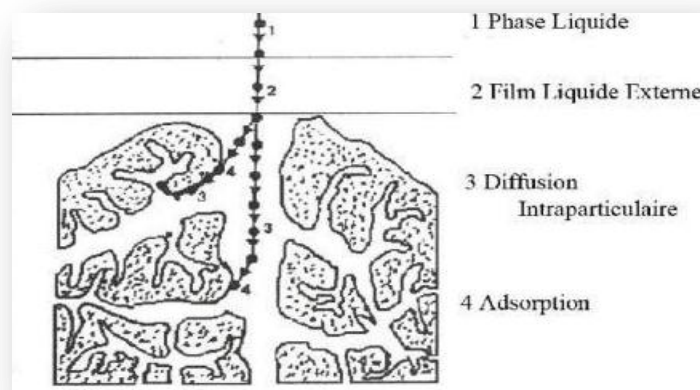


Figure III.1.13 : domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux [45].

Avant son adsorption, le soluté va passer par plusieurs étapes [45] :

- ❖ **Diffusion l'adsorbat** de la phase liquide externe vers celle située au voisinage de la surface de l'adsorbant.
- ❖ **Diffusion extra granulaire** de la matière (transfert du soluté à travers le film liquide vers la surface des grains).

- ❖ **Transfert intra granulaire** de la matière (transfert de la matière dans la structure poreuse de la surface des grains).
- ❖ **Réaction d'adsorption** au contact des sites actifs, une fois adsorbée, la molécule est considérée comme immobile.

III.1.5. Adsorbants

III.1.5.1. Définition

Au sens strict, tous les solides sont des adsorbants. Cependant, seuls les adsorbants ayant une surface spécifique suffisante (surface par unité de masse) peuvent avoir des intérêts pratiques. Les adsorbants industriels ont généralement des surfaces spécifiques au-delà de 100 m²/g, atteignant même quelques milliers de m²/g. ces adsorbant sont nécessairement microporeux avec des tailles de pores inférieures à 2 nm ou méso poreux avec des tailles de pores comprises entre 2 nm et 50 nm (selon la classification de l'UPAC) [46].

III.1.5.2 Différents types d'adsorbants

III.1.5.2.1. Adsorbant à faible Capacité

On peut citer la scorie, les cendres ainsi que les argiles. Ces solides ne sont pas régénérables [47]. L'adsorbant le plus utilisé dans cette classe est l'argile [48].

III.1.5.2.2. Adsorbants à haute Capacités

Dans cette classe, on distingue les différentes marques de charbon actif, les gels de silice, les résines synthétiques macroporeuses et autre solide. Tous ces adsorbants sont régénérables [47].

A. Les adsorbants Minéraux

Les adsorbants minéraux peuvent exister à l'état naturel ou synthétisée.

- ❖ **Les argiles** : Les argiles sont des aluminosilicates. Ce sont des produits naturels, qui sont activées pour avoir de meilleures propriétés adsorbant.
- ❖ **Les zéolithes** : Les zéolithes sont des adsorbants de squelette cristalline aluminosilicate tridimensionnel constitué de tétraèdres SiO₄ et AlO₄, de formule

globale (AlO_2M , NSiO_2) ou M représente le plus souvent un métal alcalin ou alcalino-terreux et N.

Il existe plus de 100 espèces de zéolithes, différant par la structure cristallographique. Ils ont une structure microporeuse faite de cavités et de canaux qui leur confère des propriétés adsorbantes. Ils sont sous forme de poudre, granulés ou extrudés. La surface spécifique ne dépasse pas 900 m^2/g , mais, ils présentent une bonne sélectivité [49].

- ❖ **Les alumines activées :** Les alumines activées sont obtenues par thermolyse du trihydroxyde d'alumine $\text{Al}(\text{OH})_3$ qui conduit à un produit de composition approximative $\text{Al}_2\text{O}_3, 0.5 \text{ H}_2\text{O}$, possédant une structure poreuse résultant du départ de molécules d'eau. La surface des pores est couverte de groupements Al-OH , et l'adsorption se fait préférentiellement par liaison hydrogène. Les alumines activées sont des adsorbants amorphes, moyennement polaires et hydrophiles. Ils ont une surface spécifique de 300 m^2/g [50].
- ❖ **Les gels de silice :** Les gels de silice sont préparés à partir de $\text{Si}(\text{OH})_4$ en phase aqueuse, obtenu par acidification d'un silicate de sodium, ou bien à partir d'un sol de silice. Les groupements SiOH conduisent à des liaisons hydrogène. Il existe deux types de silice : microporeux, assez hydrophiles, et macroporeux, versatiles, qui diffèrent par la taille des pores comme le nom indique. Leur surface spécifique peut être de 300 à 800 m^2/g [51].

III.1.6. Critère de la bonne qualité de l'adsorbant

Un bon adsorbant doit avoir les qualités suivantes :

- Une haute capacité d'adsorption.
- Une grande efficacité pour adsorber des substances de faibles concentrations.
- Une sélectivité élevée.
- Une aptitude à être facilement régénéré et utilisé de nouveau.
- Une grande inertie chimique.
- Un prix peu élevé.

Grâce à leur structure cristalline en feuillets, les argiles et zéolithes sont de bons adsorbants naturels. Les oxydes d'aluminium ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n \text{ H}_2\text{O}$), fabriqués à partir de bauxite par traitement thermique, sont des corps extrêmement poreux, amorphes partiellement hydratés.

Ils sont couramment employés pour le séchage des gaz l'élimination de l'eau dans les liquides [48].

III.1.7. Facteurs influençant le phénomène d'adsorption

III.1.7.1. Nature de l'adsorbant

On peut classer les adsorbants en : adsorbants apolaires, ayant plus d'affinité pour substances non polaires. L'adsorbant polaire, adsorbe les électrolytes, dans ce cas l'adsorption est sélective. Ainsi selon la charge de la surface de l'adsorbant, les cations ou les anions seront fixés [52].

III.1.7.2. L'influence de l'adsorbat

L'adsorption est aussi influencée par la structure chimique des corps dissous, ainsi les composés aromatiques s'adsorbent mieux par rapport aux composés aliphatique possédant le même nombre de carbone [53].

III.1.7.2.1.Effet de la température

L'adsorption est un phénomène endothermique ou exothermique suivant le matériau adsorbant et la nature de molécules adsorbées [52].

III.1.7.2.2.Effet de la surface spécifique

L'adsorption est proportionnelle à la surface spécifique [54]. Généralement, la surface spécifique externe ne représente qu'une portion minime de la surface totale disponible à l'adsorption. Cette surface totale peut être augmentée par broyage de la masse solide qui multiplie encore sa porosité totale [55].

III.1.7.2.3. Effet de l'agitation

Les expériences montrent que le type d'agitateur utilisé et l'intensité de l'agitation ont une influence parfois non négligeable sur la quantité adsorbée [56].

III.1.7.2.4. L'effet du pH

Le ph peut conditionner à la fois la charge superficielle de l'adsorbant ainsi que la structure de l'adsorbat. Cette grandeur caractérise les eaux et sa valeur dépendra de l'origine de l'effluent. La technique de traitement à adopter dépendra fortement de la valeur du ph [57].

III.1.7.2.5. Effet de la concentration

L'adsorption de substances ou ions accroît avec l'augmentation de leur concentration dans la solution. Toutefois, cet accroissement n'est pas proportionnel à cette concentration. Il se produit plus lentement [58].

III.1.8. Isothermes d'adsorption

III.1.8.1. Définition de l'isotherme

Une isotherme d'adsorption est la variation de la quantité adsorbée Q_e (mg/g) sur un solide en fonction de la concentration C_e (mg/L) du composé adsorbable à l'équilibre $Q_e = f(C_e)$, à une température donnée. Un grand nombre de modèles d'isothermes d'adsorption a été développé par différents chercheurs et les isothermes ont été classées suivant leur forme par BRUNAUER, EMMETT et TELLER en 1938. La plupart de ces isothermes ont d'abord été proposées en phase gaz, puis adaptées aux phénomènes en phase liquide, parmi lesquelles l'isotherme de LAGMUIR [59].

III.1.8.2. Classification des isothermes d'adsorption

Expérimentalement, on distingue quatre classes principales nommées : S (Sigmoïde), L (Langmuir), H (Haut affinité) et C (partition constante). La figure III.14 représente la classification des isothermes d'adsorption selon Giles.

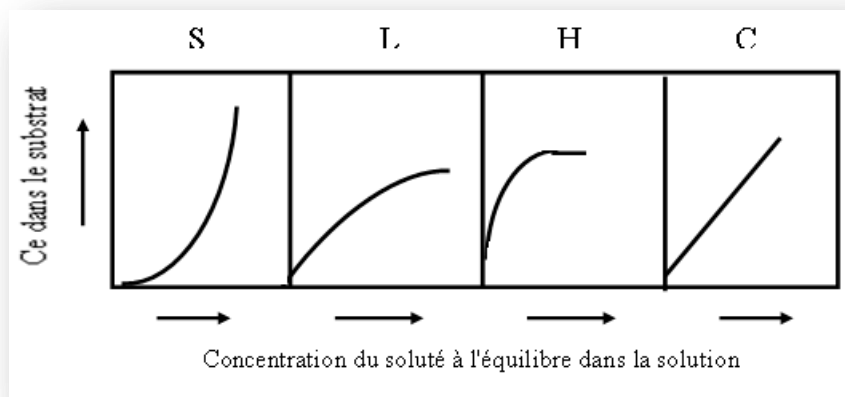


Figure III.1.14 : classification des isothermes d'adsorption selon

Giles

Cette classification tient compte entre autres d'un certain nombre d'hypothèses [59] :

- ✓ Le solvant s'adsorbe sur les mêmes sites que le soluté. Ceci implique l'existence d'une compétition d'adsorption entre le solvant et le soluté.
- ✓ Le nombre de sites susceptibles d'accueillir les molécules de soluté à la surface du solide diminue quand la quantité adsorbée augmente.
- ✓ L'orientation des molécules à la surface. On cite le cas où les molécules sont adsorbées verticalement ou horizontalement sur la surface.
- ✓ En fin, les interactions attractives ou répulsives entre les molécules adsorbées se manifestent d'une façon notable dans le phénomène d'adsorption.

III.1.8.3. Modèles d'isothermes d'adsorption

Plusieurs modèles mathématiques permettent une description satisfaisante du phénomène d'adsorption.

Les modèles les plus appliqués sont de Langmuir et de Freundlich, et ils diffèrent par leurs conditions de validité :

III.1.8.3.a. Modèle de Langmuir

La théorie de LANGMUIR (1918) a permis l'étude de l'adsorption de molécules de gaz sur des surfaces métalliques. Elle repose sur les hypothèses suivantes :

- L'adsorption se produit sur des sites localisés d'égale énergie.
- L'adsorption se produit en monocouche.
- Il n'y a pas d'interaction latérale entre les molécules adsorbées à la surface.
- La réaction est réversible (c'est-à-dire qu'il y a équilibre entre l'adsorption et la désorption).
- Le nombre des sites d'adsorption sur la surface est limité.

L'isotherme de LANGMUIR est difficilement utilisable pour des systèmes naturels où l'adsorption en couche simple sur un seul type de site est rarement rencontrée.

L'isotherme est représentée par l'équation suivante [61] :

$$Q_e = \frac{Q_m * K_L * C_e}{1 + K_L * C_e}$$

Equation N°1

Dans le cas d'une faible quantité de soluté adsorbé, le terme $(K_L \cdot C_e)$ peut être très inférieur à 1 et il est alors négligé. La relation de LANGMUIR se réduit alors à une relation directe entre la capacité d'adsorption et la concentration à l'équilibre de l'adsorbat en phase liquide :

$$Q_e = Q_m * K_L * C_e \quad \text{Equation N°2}$$

Dans le cas d'une forte quantité de soluté adsorbée, le terme $(K_L \cdot C_e)$ devient largement supérieur à 1. Cela implique tend vers q m.

La linéarisation de l'équation (1) conduite à l'équation suivante [62] :

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{Q_m} + \frac{1}{Q_m * K_L} * \frac{1}{C_e} \quad \text{Equation N°3}$$

Q_e: Quantité d'adsorbat adsorbée à l'équilibre par gramme d'adsorbant (mg/g).

Q_m : Quantité d'adsorbat nécessaire couvrir la première couche de l'adsorbant (mg/g).

K_L: Constante d'équilibre caractéristique de l'adsorbant, dépendant de la température et des conditions expérimentales (L/mg).

Le rapport R_L comme une grandeur sans unité indiquant si l'adsorption d'autant plus favorable que R_L tend vers zéro ($R_L \rightarrow 0$) et d'autant plus défavorable que R_L tend vers 1 ($R_L \rightarrow 1$)

Définit par :

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L * C_e} \quad \text{Equation N°4}$$

Où :

K_L : constante de Langmuir et C_0 est la concentration initiale maximale de l'adsorbat. (Mg/L)

Le modèle de Langmuir est représenté par les relations suivantes:

Tableau III.1.7: Expressions mathématiques du modèle de Langmuir

Isotherme	Expression non linéaire	Expression linéaire	Trace
Langmuir 1 (Eq.I.1)	$Q_e / Q_m = \theta = K_L C_e / (1 + K_L C_e)$	$1/Q_e = (1/C_e) (1/Q_m K_L) + 1/Q_m$	$1/Q_e$ vs. $1/C_e$
Langmuir 2 (Eq.I.2)	$Q_e/Q_m = \theta = K_L C_e / (1 + K_L C_e)$	$C_e/Q_e = C_e / Q_m + 1/Q_m K_L$	C_e/Q_e Vs C_e

K_L: Constante de Langmuir en l/mg ou l/mol.

Q_m: Capacité d'adsorption maximale en mg/g.

Donc on peut représenter les expressions linéaires graphiquement pour avoir les

Valeurs de q_m et K_L . En traçant $1/Q_e$ en fonction $1/C_e$, la droite représentée à une pente $1/Q_m K_L$ et une ordonnée à l'origine $1/Q_m$ dans le cas de Langmuir 1, mais dans le cas de Langmuir 2 consiste à représenter C_e/Q_e en fonction C_e , la pente est $1/Q_m$ et l'ordonnée à l'origine est $1/Q_m K_L$.

III.1.8.3.b. Modèle de Freundlich

En 1926 FREUNDLICH a établi une isotherme très satisfaisante qui peut s'appliquer avec succès à l'adsorption des gaz, mais qui a été principalement utilisée pour l'adsorption en solution, il a constaté que le mécanisme de ce processus est assez complexe, du fait de l'hétérogénéité de la surface ce qui rend la chaleur d'adsorption variable. On ne peut dans ce cas affirmer que tous les sites d'adsorption sont identiques du point de vue énergétique, du fait de la présence de différents types de défauts de structure dans l'adsorbant.

Cette équation prend la forme suivante [63] :

$$Q_e = K_F * C_e^{1/n} \quad \text{Equation N°5}$$

Où :

Q_e : quantité d'adsorbat adsorbée par gramme de solide à l'équilibre (mg/g).

C_e : concentration d'adsorbat dans la solution à l'équilibre (mg/L).

K_f et n : constantes de Freundlich, caractéristiques de la solution et de l'adsorbant, déterminées expérimentalement.

Des valeurs élevées de **K_f** et **n** traduisent une forte adsorption des solutés, **n** a toujours une valeur supérieure à 1 et est souvent voisine de deux.

La linéarisation par changement d'échelle de la relation de FREUNDLICH conduit à l'équation suivant :

$$\text{Log} Q_e = \text{log} K_F + (1/n) \text{log} C_e \quad \text{Equation N°6}$$

En portant $\text{log}(Q_e)$ en fonction de $\text{Log} C_e$, on obtient une droite de pente $(1/n)$ et d'ordonnée à l'origine égale à $\text{log} K_f$, d'où on tire les constantes de Freundlich (K_f) et n .

III.1.9. Cinétique d'adsorption

La connaissance de la cinétique des opérations fondées sur le phénomène d'adsorption présente un intérêt pratique considérable pour la mise œuvre optimal d'un adsorbant ainsi que pour connaître les facteurs qu'il faut optimiser pour fabriquer ou améliorer un adsorbant conduisant à la cinétique la plus rapide possible.

Le processus d'adsorption se produit selon une succession des étapes qui détermine la vitesse globale de processus :

- **Le transfert de masse externe** ; implique le transfert et la diffusion de l'adsorbat à travers un film liquide vers la surface de l'adsorbant.
- **Le transfert de masse interne** ; qui implique la pénétration de l'adsorbat dans le système poreux de l'adsorbat.

Si l'adsorbant n'est pas poreux, c'est l'étape de transfert de masse externe qui contrôle la vitesse de l'adsorption, cependant, si l'adsorbant est poreux, ce qui est le cas le plus souvent. C'est l'étape de transfert de masse interne qui limite la vitesse d'adsorption [64] plusieurs modèles ont été développés afin d'examiner le mécanisme de processus d'adsorption d'un liquide sur la surface d'un solide.

III.1.9.1. Modèle de pseudo premier ordre

LANGRANGE (1889) a proposé un modèle cinétique du pseudo première ordre exprimée par la relation suivant [65]:

$$\frac{dQ_t}{dt} = k_1 * (Q_e - Q_t) \quad \text{Equation N°7}$$

Où :

K₁ : la constante de vitesse pour une cinétique de pseudo première ordre.

Q_t : la capacité d'adsorption à l'instant t.

Q_e : la capacité d'adsorption à l'équilibre.

L'intégration de l'équation (8) donne :

$$\text{Log}(Q_e - Q_t) = \text{Log } Q_e - (K_1/2.303).T \quad \text{Equation N°8}$$

III.1.9.2. Modèle de pseudo deuxième ordre

Le modèle du pseudo deuxième ordre suggère l'existence d'une chimisorption, un échange d'électron par exemple entre molécule d'adsorbat et l'adsorbant solide [66].

$$\frac{dQ_t}{dt} = K_2(Q_e - Q_t)^2 \quad \text{Equation N°9}$$

Où :

K₂ : la constante de vitesse pour une cinétique de pseudo deuxième ordre ;

Q_t : la capacité d'adsorption à l'instant t ;

Q_e : la capacité d'adsorption à l'équilibre.

L'intégration de l'équation donne :

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{K \cdot Q_e^2} + \frac{1}{Q_e} \cdot t$$

Equation N°10

III.1.10. Thermodynamique d'adsorption

Le phénomène d'adsorption est toujours accompagné par un processus thermique [67], soit exothermique ou endothermique. La mesure de la chaleur d'adsorption est le principal critère qui permet de différencier la Chimisorption de la physisorption. La chaleur d'adsorption (ΔH) est donnée par la relation de Van T'Hoff :

$$\text{Log } K = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{RT}$$

Equation N°11

III.1.11. Capacité d'Adsorption

La capacité d'adsorption d'un adsorbant est définie comme étant la quantité maximale d'adsorbat (masse ou volume) adsorbée par unité de poids d'adsorbant pour une température donnée [68]. Elle nécessite la prise en compte de nombreux paramètres aussi bien pour l'adsorbat (taille des molécules, solubilité dans l'eau...) que pour l'adsorbant (surface spécifique, structure et type des particules constitutives...).

Elle peut être généralement exprimée par la relation suivant :

$$Q = x/m$$

Equation N°12

Où :

X : masse d'adsorbat à la surface de l'adsorbant (mg),

M : masse de l'adsorbant (g). D'autres facteurs comme le pH, la température et la force ionique (effet des sels) peuvent influencer la capacité d'adsorption [69].

III.1.12. Application industrielle de l'adsorption

Les applications industrielles concernant le traitement des solutions diluées (Purification et Extraction) sont nombreuses [70]. Les traitements les plus importants concernent :

- La décoloration des liquides.
- Les purifications des divers produits pétroliers et de matières grasses animales et végétales.
- Le traitement des eaux.
- Le raffinage des produits pétroliers.

- La catalyse de contact.
- La déshumidification et la désodorisation de l'air.
- La dessiccation de produits organiques industriels.

III.1.13. Utilisation d'adsorption

Les principales utilisations de l'adsorption sont :

- a) Séparations gazeuses : Cette opération permet la déshumidification de l'air ou d'autres gaz, l'élimination d'odeurs ou d'impuretés sur des gaz, la récupération des solvants et le fractionnement des hydrocarbures volatils.
- b) Séparations liquides : cette opération conduit à l'élimination des traces d'humidité dans les essences, le fractionnement des mélanges d'hydrocarbures, la décoloration des produits pétroliers et des solutions aqueuses de sucre [70].

Parité 2:Généralité sur conductivité

III.2.1.Définition de conductivité

La conductivité est la capacité d'une solution, d'un métal ou d'un gaz – autrement dit de tous les matériaux – à faire passer un courant électrique. Dans une solution, ce sont les anions et les cations qui transportent le courant alors que dans un métal ce sont les électrons. Un certain nombre de facteurs entre en jeu pour qu'une solution conduise l'électricité:

- la concentration
- la mobilité des ions
- la valence des ions
- la température

Chaque substance possède un certain degré de conductivité. Pour les solutions aqueuses, le niveau de la force ionique s'étend des très faibles conductivités pour les eaux ultra pures jusqu'aux très fortes conductivités pour des échantillons chimiques concentrés.

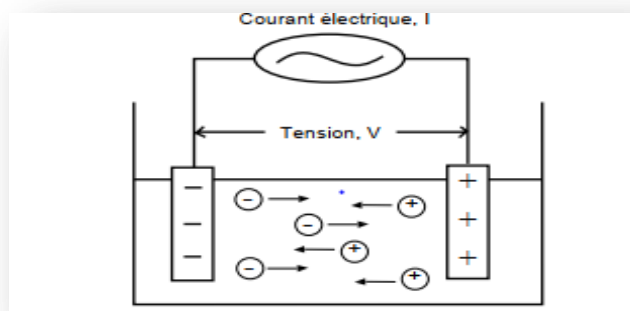


Figure III.2.15: Migration des ions en solution

III.2.2.Mesurer la conductivité

La conductivité se mesure en appliquant un courant électrique alternatif (I) à deux électrodes immergées dans une solution et en mesurant la tension (V) qui en résulte. Lors de cette expérience, les cations migrent en direction de l'électrode négative, les anions se dirigent vers l'électrode positive et la solution se comporte comme un conducteur électrique.

III.2.3.La solution conductrice

La conductivité est typiquement mesurée dans des solutions aqueuses d'électrolytes. Les électrolytes sont des substances qui contiennent des ions, c'est-à-dire des solutions de sels ioniques ou de composés qui s'ionisent en solution. Ce sont les ions formés dans la solution qui vont transporter le courant électrique. Les électrolytes, acides, bases et sels, peuvent être soit forts soit faibles. Les solutions les plus conductrices sont les solutions aqueuses puisque l'eau a la capacité de stabiliser les ions formés par un procédé appelé solvation.

III.2.3.1.Electrolytes forts

Les électrolytes forts sont des substances qui sont entièrement ionisées en solution. Il en résulte que la concentration des ions en solution est proportionnelle à la concentration de l'électrolyte ajouté. Ils comprennent les solides ioniques et les acides forts, par exemple HCl . Les solutions d'électrolytes forts sont conductrices car les ions positifs et négatifs peuvent migrer de manière très indépendante sous l'influence d'un champ électrique.

III.2.3.2. Electrolytes faibles

Les électrolytes faibles sont des substances qui ne sont pas entièrement ionisées en solution.

Par exemple, l'acide acétique se dissocie partiellement en ions acétate et en ions hydrogène.

Une solution d'acide acétique va donc contenir à la fois la molécule et les ions. Une solution d'électrolyte faible ne va pas aussi bien conduire l'électricité qu'un électrolyte fort.

Ceci s'explique par le fait qu'il y a moins d'ions présents dans la solution pour transporter les charges d'une électrode à l'autre.

III.2.4. Définition des termes utilisés

III.2.4.1. Conductance

La conductance G est définie comme étant l'inverse de la résistance électrique R d'une solution entre deux électrodes.

$$G = 1/R \text{ (S)}$$

Equation N°13

Dans la pratique, les conductimètres mesurent la conductance et affichent la conductivité après avoir effectué les opérations de conversion.

III.2.4.2. La constante de cellule

C'est le rapport de la distance (d) entre les électrodes sur la surface des électrodes (a)

$$K = d/a$$

Equation N°14

K = constante de cellule (cm^{-1})

a = surface réelle des électrodes (cm^2)

d = distance entre les électrodes (cm)

III.2.4.3. Conductivité

L'électricité est un flot d'électrons. Ceci indique que les ions en solution sont en mesure de conduire l'électricité. La conductivité est la capacité d'une solution à faire passer du courant.

La conductivité d'un échantillon varie avec la température.

$$\kappa = G \cdot K$$

Equation N°15

κ = conductivité (S/cm)

G = conductance (S), avec $G = 1/R$

K = constante de cellule (cm⁻¹)

III.2.5. Etalon de conductivité

Une solution de conductivité connue est utilisée pour étalonner la chaîne de mesure de conductivité.

III.2.6.TDS (Total Dissolved Solids)

Le TDS correspond à la mesure de la concentration totale des espèces ioniques présente dans un échantillon. La grandeur est relative à la solution étalon utilisée lors de l'étalonnage de l'instrument.

III.2.6.1.FacteurTDS

Les lectures de conductivité sont converties en lectures TDS par multiplication avec un facteur mathématique connu. Ce facteur dépend du matériau de référence utilisé pour préparer l'étalon.

III.2.6.2.Salinité

La salinité est une mesure sans unité qui correspond au poids des sels dissous dans de l'eau de mer.

III.2.7.Le Conductimètre

Typiquement, un conductimètre applique un courant alternatif I à une fréquence¹⁾ optimale à deux électrodes actives, puis il mesure le potentiel V qui en résulte. Le courant et le potentiel vont tous deux être utilisés pour déterminer la conductance (I/V). En se servant de la conductance obtenue et de la constante de cellule, le conductimètre va afficher la conductivité. Conductivité²⁾ = constante de cellule x conductances.

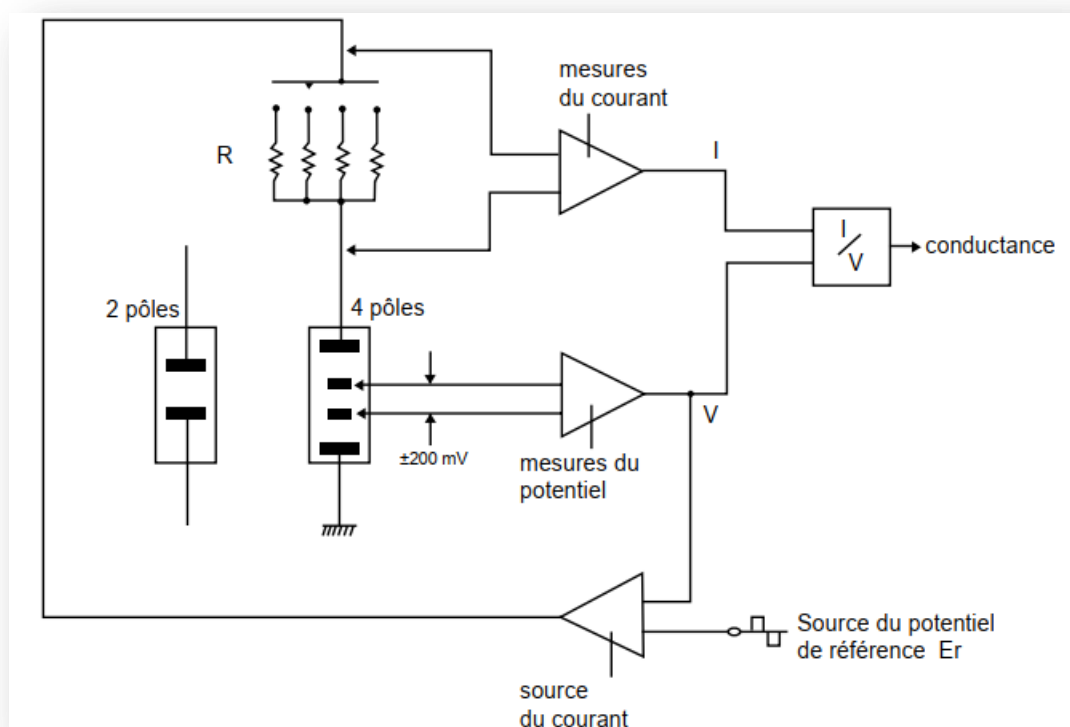


Figure III.2.16 : Diagramme simplifié d'un conductimètre

Chapitre IV

IV.1.Introduction

L'argile qui fait l'objet de notre travail est connue sous le nom de "bentonite". Elle désigne généralement une poudre minérale constituée essentiellement de l'argile de montmorillonite (famille des smectites). Dans leur état naturel, la plupart des gisements de bentonite sont hétérogènes ; ils sont constitués de smectites mélangées ou inter stratifiées avec l'illite et/ou la kaolinite et d'autres impuretés. La bentonite est largement utilisée dans de nombreux secteurs industriels (pharmacie, cosmétique, chimie, génie civil, agroalimentaire ...). Elle est utilisée sous forme pâteuse ou à l'état de poudre pour la réalisation de barrières étanches pour les déchets industriels et ménagers (géomembranes bentonitiques) et les déchets radioactifs (barrières ouvragées ; poudre compactées). A l'état liquide, la boue de bentonite se définit comme une suspension eau-argile. [75] Dans ce chapitre, nous présentons, en premier lieu, la structure et les propriétés des matériaux argileux en général, afin de mieux distinguer les spécificités des smectites ainsi que la montmorillonite. Cette famille d'argile est la composante majeure de la bentonite commerciale utilisée dans le présent travail. Cependant, il convient de souligner qu'une bentonite peut être composée de smectites mélangées ou inter stratifiées avec l'illite et/ou la kaolinite. On note que ces dernières sont moins abondamment traitées dans la littérature que les smectites et les montmorillonites et aux modes d'associations entre les particules dans le système bentonite-eau.

IV.1.1.les argiles

Les argiles sont des produits de décomposition des roches siliceuses, par désagrégation Physique et mécanique puis par altération chimique. Les argiles représentent 82% des roches sédimentaires provenant de la décomposition lente des minéraux primitifs tels que : feldspath, micas, amphiboles, pyroxène et constituant donc l'essentiel du complexe d'altération. Les particules d'argiles sont généralement très petites ($< 2\mu\text{m}$) elles sont composées de silicates hydratés d'aluminium et partiellement de magnésium... se présentant sous différentes formes qui peuvent être regroupées en :

- Kaolinite
- Illites
- Montmorillonite (Smectite) Ce sont des silicates lamellaires ou phyllo silicates qui résultent de l'empilement de deux formes minéralogiques de base, les feuillets tétraédriques et les feuillets octaédriques.

a)Les feuillets tétraédriques :

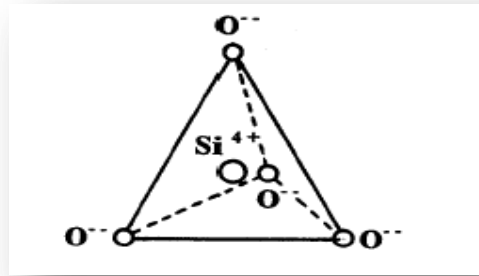


Figure IV.1.17: Le tétraèdre, élément structural de base des silicates

Sont composés de tétraèdre SiO_4 , avec leur base dans un même plan, pointant leur sommet du même côté et formant un réseau plan d'anneaux hexagonaux, ces feuillets sont chargés négativement.

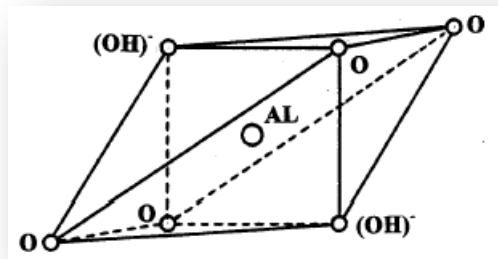


Figure IV.1.18: Réseau hexagonal plan des tétraèdres des phyllosilicatés

b) Les feuillets octaédriques:

Sont composés d'octaèdre $\text{Al}(\text{OH})_6$ (ou éventuellement de $\text{Mg}(\text{OH})_6$) formant également un réseau d'anneaux octogonaux. Ces feuillets de gibbsite ou de brucite sont neutres électriquement.

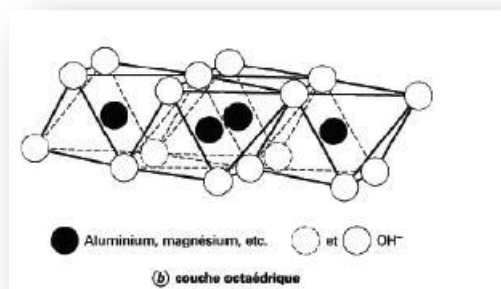
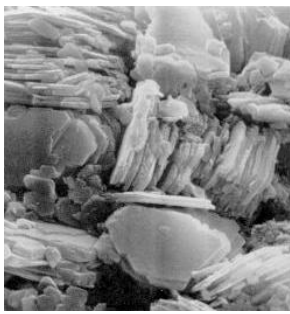


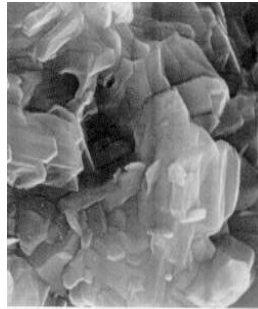
Figure IV.1.19 : Couche octaédrique [76]

Tableau IV.1.8 : Caractéristiques des argiles

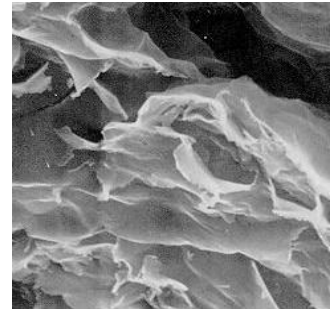
Nom	Type	Nombre de feuillets par particule	Diamètre d'une particule (μm)	Epaisseur d'une particule (μm)	Surface spécifique en m^2/g	C.E.C. en meq/100g
Kaolinite	1:1	100 - 200	0,1 - 4	1 - 10	10 - 20	3 - 15
Illite	2:1	1 - 10	0,1 - 1	0,003 – 0,01	65 - 100	10-40
Montmorillonite (smectite)	2:1	1	0,1	0,001	700 - 840	80 - 150
Chlorite	2:1:1	1	0,1	0,005	800	10-40



Kaolinite



Illite



Montmorillonite

Figure IV.1.20 : Photographies au Microscope Electronique à Balayage des argiles

IV.1.2. Propriétés des argiles

Les propriétés bien particulières des minéraux argileux sont dues à la petite taille, la structure en feuillets et la charge négative des particules. Elles forment avec l'eau des solutions colloïdales qui flocculent lorsque les charges de surfaces des particules sont neutralisées par des ions. Ce phénomène est réversible :

Les particules retrouvent l'état dispersé lorsque les ions sont éliminés par rinçage. Les argiles fixent l'eau par adsorption à leur surface et augmentent de volume par gonflement. Elles constituent ainsi une réserve d'eau. L'argile sèche développe une tension de succion importante pour l'eau qui peut s'opposer à celle des racines des plantes. Avec adjonction croissante d'eau, la tension d'exsuction diminue, l'ensemble eau- argile devient plastique, puis visqueux et finalement les particules d'argiles se dispersent dans l'eau en formant une solution colloïdale. L'argile imprégnée d'eau qui se dessèche se rétracte et se casse par des

fentes de retrait. La bentonite se disperse facilement dans l'eau. On obtient une suspension dont les propriétés sont en fonction des caractéristiques suivantes:[77]

Tableau IV.1.9 : Composition chimique de la bentonite de (Magnai)

élément	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mg O	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	TOTAL	SiO ₂ /Al 2O ₃
%	69.36	14.93	3.97	2.11	0.44	0.14	1.55	2.08	94.58	4.64

IV.1. 3. Les propriétés physico – chimiques des argiles

Les roches argileuses ont les propriétés physiques suivantes:

- Elles sont fragiles, elles cassent et se raient facilement.
- Elles sont colorées, leur couleur varie selon les minéraux dont elles sont constituées.
- Elles sont transformables, on peut les cuire pour obtenir des céramiques.
- Elles sont miscibles à l'eau, elles ne se dissolvent pas mais gonflent pour former une pâte.

[78]

IV.2. 1.Les bentonites

Le terme bentonite désigne une argile composée essentiellement de montmorillonite du groupe des smectiques et qui se caractérise par une forte capacité de gonflement (pouvoir absorbant) après absorption d'un liquide : l'eau ou un liquide organique Les smectiques se caractérisent par une structure en feuillets (distance réticulaire 14Å) constitués de trois couches tétraédriques et octaédriques selon la position de l'oxygène ou de l'hydroxyle (OH), les petits cations (Si⁴⁺, Al³⁺,Fe³⁺,Fe²⁺,Mg²⁺) se logent dans les cavités des tétraèdres et des octaèdres. Les bentonites sont des silicates d'alumine hydratés appartenant au groupe des Montmorillonites de formule brute :

Si₄ (Al (2-x) Rx) (O₁₀, H₂O) (Cex, nH₂O) ou Si₄ (Al (2-x) Rx) (H₂O) n avec :

-R=Mg, Fe, Mn, Zn, Ni

- Ce (cations échangeables) = Ca, Na, Mg. [79]

IV.2.2.Origine de la bentonite

Les roches argileuses ainsi formées portent le nom de bentonite, d'après le gisement situé près de Fort Benthon (Wyoming, Etats-Unis). Elle contient plus de 75 % de montmorillonite ; cette

dernière fut découverte pour la première fois en 1847 près de Montmorillon, dans le département de la Vienne (France). [80]

IV.2.3.Type de la bentonite

IV.2.3.1. Bentonites naturelles

En fonction de la nature du cation échangeable présent, il existe à l'état naturel deux types de bentonites :

- les bentonites sodiques

Où le sodium est le cation échangeable majoritaire, elles ont un fort pouvoir de gonflement et d'adsorption.

- les bentonites calciques

Où le calcium est le cation échangeable majoritaire, elles ont un pouvoir de gonflement et d'adsorption plus faible que les bentonites sodiques. Ces deux types de bentonites, éventuellement après un séchage à 80-90°C, sont simplement broyés avant leur commercialisation.

IV.2.3.2. Bentonites activées

Afin d'améliorer les propriétés d'adsorption des bentonites calciques, ces dernières sont le plus souvent activées par du carbonate de sodium puis séchées et broyées; on obtient ainsi des bentonites calciques activées dont les propriétés sont égales ou supérieures à celles des bentonites sodiques. Les propriétés de ces bentonites ainsi activées ou permutées sont moins stables dans le temps (3 à 18 mois) et dépendent de l'activation et des taux de magnésium, calcium et sodium. Ces différents types de bentonites se présentent sous forme de poudre ou de granulés sphériques ou cylindriques. Elles ont des couleurs très variables allant du blanc pour les produits les plus purs au gris, beige ou vert pour les autres. [81]

IV.2.4. Structure de la bentonite

La montmorillonite $(OH)_4 Si_8(Al_{10/3}, Mg_{2/3}) O_{20}, nH_2O$, (Figure IV.2) est le constituant principal de la bentonite. C'est un phyllo silicates 2 :1 (famille de smectites) dans lequel la charge négative de la couche est électriquement équilibrée par une charge égale, des cations échangeables (Ca , Mg , H⁺, K⁺, NH⁺ et Na⁺) situés principalement entre ces couches silicates ; ces cations ne font pas partie de la structure et garde une certaine mobilité.[82]

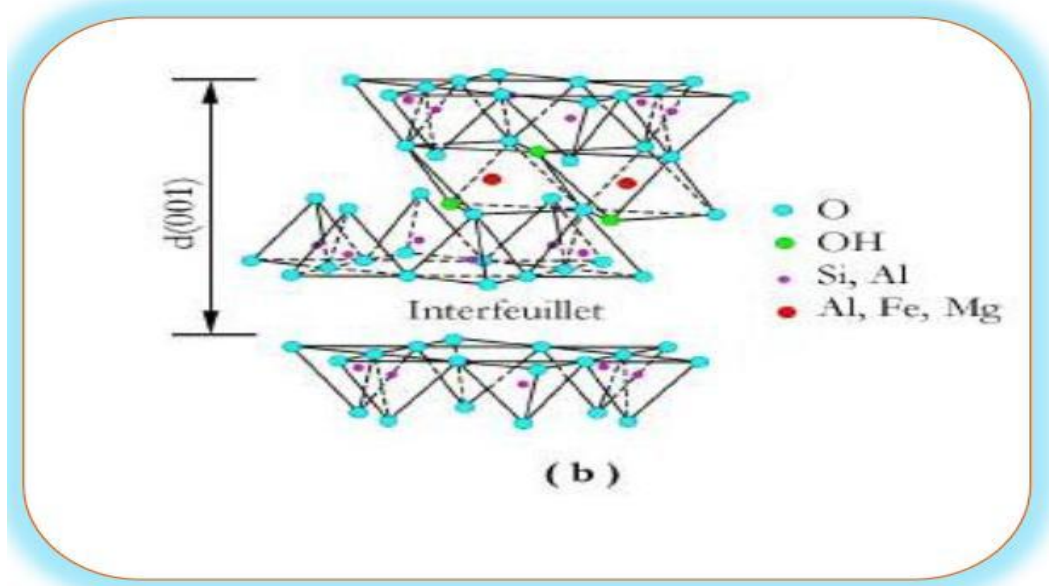


Figure IV.2.21 : Structure de la montmorillonite

IV.2.5. Caractéristiques physiques des montmorillonites

IV.2.5.1. La capacité d'échange cationique

La CEC d'une argile est définie comme la quantité de cations susceptibles d'être échangés. Elle est conventionnellement exprimée en milliéquivalents pour 100 g d'argile sèche (meq/100g). Cette capacité d'échange cationique est considérée de manière globale, et concerne à la fois les cations de l'espace inter foliaire, les cations de surface et de bordure de feuillets. La contribution des cations inter foliaires à la capacité d'échange peut théoriquement être déduite de l'analyse chimique, en supposant que tous les cations inter foliaires sont échangeables, ce qui n'est pas toujours le cas pour des raisons diverses : sodium,

potassium, calcium inter foliaires sont inéchangeables dans les micas, ou présence de modes d'empilement des feuillets qui rendent certains cations inaccessibles à l'échange.

IV.2.5.2. La surface spécifique

Les argiles sont composées de la surface externe comprise entre les particules et la surface interne correspondant à l'espace inter foliaire. L'augmentation de la surface spécifique donne un pouvoir de gonflement plus important et par conséquent un potentiel de gonflement plus élevé.

IV.2.5.3. Le gonflement

Ce phénomène d'ordre capillaire résultant de la granulométrie fine des particules ainsi que de la présence de charges à la surface des feuillets va contribuer à accentuer les interactions montmorillonite-eau. Pour comprendre cela, on s'intéresse à l'échelle des particules où les feuillets sont séparés par un nombre variable de couches d'eau (entre 0 et 4) et des pores lenticulaires de l'ordre de 30 à 50 Å.

Les particules sont plus ou moins épaisses, selon la nature du cation compensateur et les propriétés physico-chimiques de la bentonite.

En effet, deux types de gonflement peuvent se produire au sein des matériaux argileux :

- ❖ Le gonflement inter foliaire.
- ❖ Le gonflement inter particulaire.
- ❖ Gonflement inter foliaire et inter particulaire :

L'analyse minéralogique montre que certaines argiles, pour lesquelles les liaisons inter feuillets sont très faibles, ont la propriété de fixer les molécules d'eau entre deux feuillets voisins (c'est le cas de smectites telles que la montmorillonite, et de certaines chlorites).

L'eau pénétré à l'intérieur des particules et s'organise en couches mono moléculaires, il s'agit alors d'un gonflement inter foliaire. Il intervient à l'échelle la plus petite de la structure argileuse mais peut présenter une ampleur très importante.

En dehors de ce cas particulier, qui définit les argiles dites gonflantes, le gonflement est inter particulaire, qui contrairement au gonflement inter foliaire, a une ampleur assez limitée, mais affecte toutes les argiles.

IV.2.6. Application de la bentonite

Les bentonites ont de larges applications dans différents domaines (forage, fonderie, céramique, peinture, pharmacie, terres décolorantes,..., etc.). La majeure partie de la bentonite exploitée dans le monde est utilisée comme liant du sable de moulage, dans l'industrie de la fonderie et aussi pour épaissir les fluides de forage. [83]

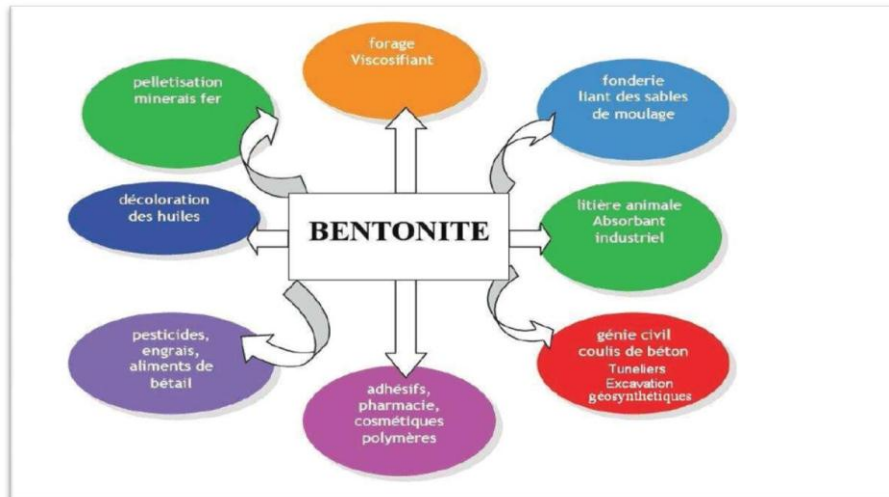


Figure IV.2.22 : Domaines industriels d'utilisation des bentonites

IV.2.7. La bentonite en Algérie

En Algérie, les gisements de bentonite les plus importants économiquement se trouvent à l'ouest algérien. On relève en particulier la carrière de Maghnia (Hammam Synthèse Boughrara) dont les réserves sont estimées à un million de tonnes et de celle de Mostaganem (M'zila) avec des réserves de deux millions de tonnes onctueuse au toucher, sa teinte est blanche, grise ou légèrement teinte de jaune. Elle provient de la dévitrification des couches volcaniques sous l'influence des eaux à réaction alcaline ou acide. En plus de la montmorillonite, cette terre peut contenir d'autres minéraux argileux (kaolinite, illite,...) ainsi que des impuretés sous forme de gypses, de carbonates,...etc. [84]

Tableau IV.2.10: Caractéristiques physico-chimiques de la bentonite d'Algérie

Bentonites	Surface spécifique (m ² /g)	pH	Cation échangeable (még/100g)			
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Mostghanem	65	9.1	46,7	8,1	7,8	6
Maghnia	80	6.2	30,6	12,8	36,2	9,5

Partie Expérimentale

Objectifs :

L'objectif de cette partie expérimentale est de diminuer la concentration de NaNO_3 qui est un sel et joue en même temps le rôle d'un agent provoquant le phénomène d'eutrophisation par le procédé d'adsorption en utilisant une bentonite modifiée comme support adsorbant en outre les autres effets sur l'écosystème littorale.

V. Matériels et Méthodes

V.1. Matériels et appareillage

Tableau V.11: tableau des matériels et appareillage

Matériels	Appareillage
Bécher –Erlenmeyer	Une balance analytique type (OHAUS)
Eprouvette graduée – Fiole jaugée	Une étuve +Réfrigérateur
Entonnoir –papier filtre	une centrifugeuse de type (apogée swing - 3000)
Buchner – Thermomètre	Agitateur magnétique +barreau magnétique
Verre de montre – Mortier	Un spectrophotomètre UV-visible Conductimètre
Pipette graduée –pissette	Des tamis de (2à0.2mm)

V.2. Réactifs utilisés

Les réactifs utilisés dans ce travail sont présentes dans le tableau suivant :

Operations analytiques	Réactifs
Purification de la bentonite	- Solution de HCl (0.05) -Solution de NaCl (0.1)
Modification de la bentonite	-Solution de NH_4Cl (1.5%massique)

V.3.Méthodologie de travail

V.3.1.Choix de la bentonite

La bentonite employée dans ce travail (Figure V.23) provient du gisement de Hammam Boughara situé à Maghnai. Elle est caractérisée par une surface spécifique moyennement importante de l'ordre de $80 \text{ m}^2/\text{g}$ et un pH légèrement acide (Tableau V.12).

Sa composition en oxydes métallique est diversifiée (Tableau V.13).



Figure V.23 : la bentonite de Maghenia

Tableau V.12 : caractéristiques physico –chimique de la bentonite de magnai

Surface spécifique (m ² /g)	Cations échangeables (meq/100g)				PH
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
80	30.6	12.8	36.2	9.5	6.2

Tableau V.13 : composition chimique de la bentonite de Maghenia.

Constituants	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ² O ³	maghenia	MgO	Na ² O	K ₂ O	MO ²	As
%	69.4	14.7	1.2	0.3	1.1	0.5	0.8	0.2	0.05

V.3.2. Purification de la bentonite

Après séchage 80c° pendant une nuit, la bentonite brute est broyée puis tamisée à deux reprises sur tamis de 2et 0.2mm.

Le tamisât est redis perse une solution de (HCl 0.05M) (100g de bentonite par ½ litre de solution).

La suspension est laissée se décanter a l'aire libre, puis lavée à l'eau distillée jusqu' à pH neutre.

Elle est dispersée, dans (NaCl 0.1M), sous agitation pendante 12 heure environ.

Après décantation la bentonite est redis Persée dans l'eau distillée et la fraction argileuse est séparée.



Figure V.24 : la décantation à l'air libre.

Les suspensions récupérées sont centrifugées pendant 15min à **2500 tours/ min**, sodées une deuxième fois, puis lavées à l'eau distillée pour éliminer l'excédent de sel.

L'argile débarrassée de chlorure est séchée à 80 c° pendant trois jours puis finement broyée.

Elle est alors prête pour une activation par le chlorure d'ammonium (NH_4Cl).



Figure V.25 : le broyage de la bentonite.

V.3.3.Activation de bentonite

La bentonite de Magnai est activée avec chlorure d'ammonium à des taux d'activation différents, soit :

5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Après 1h30min de contact entre les deux réactifs, la bentonite est lavée abondamment avec de l'eau distillé jusqu' à l'obtention d'un pH neutre, filtrée puis séchée à l'étuve à 80c° pendant 24 heures.

V.3.4. Caractérisation de la bentonite active

La bentonite ayant donnée un maximum d'adsorption du la saumure est caractérisé au moyen des deux expériences suivante :

V.3.4.1. Mesure de la densité apparente

Dans une éprouvette graduée, une masse de bentonite **m** occupera un volume **Va**.

La densité apparente peut être calculée au moyen de l'équation suivante :

$$P=m/Va \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

V.3.4.2. Mesure de la porosité

Méthode pour calculer la porosité

Pour mesure cette grandeur, il suffit de mettre dans une éprouvette de 10 ml, une masse de bentonite m_1 équivalente à un volume de V_1 de 1 ml en suite d'ajouter du méthanol jusqu' à atteindre, un volume V_2 de 2 ml correspondant à une masse totale. La porosité est calculée au moyen de la formule suivante:

$$\varepsilon = \frac{m_2 - \frac{m_1}{p} \text{méthanol} - V_2}{V_1}$$

Equation N°6

V.3.5. Optimisation des conditions d'adsorption du la saumure

Dans le but d'optimiser les conditions en faveur d'une meilleure adsorption du la saumure sur la bentonite active précédemment caractérisée, nous avons étudié, l'effet de trois paramètres sur le processus d'adsorption du la saumure à savoir :

- 1) Le taux d'activation.
- 2) Le temps de contact.
- 3) La masse de la bentonite active.
- 4) La température.

Les conditions opératoires sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau V.14 : les conditions opératoires du processus d'adsorption

Paramètres	Conditions opératoires
- Taux d'activation	- m (bentonites) = 1g - Taux d'activation (%)=(5-10-15-20-25-30-35-40) -V(NaNO ₃)=50ml -C(NaNO ₃)=35mg/l -T=21°C
- Temps de contact	- m (bentonites) = 1g -V (saumure)=50 ml -temps= (30-60-90-120-150-180-210-240) min -T= 21°C
- Masse de bentonite active	- m (bentonites)= (0.2-0.4-0.6-1-1.2-1.4-1.6) -V=50ml -t(h)=3.5h T (°C)=22°C
- Température	- m (bentonites)=1.4 -V=50ml -T(°C)=25-30-35-40-45-50-55-60

La quantité de la saumure adsorbée par unité de masse de bentonite est calculée par la formule suivante :

$$Q_e = \frac{C_0 - C_e}{m} * V$$

Equation N°7

Le Taux d'élimination **R%** de la saumure on a calculé par cette équation suivent :

$$R\% = \frac{C_0 - C_e}{C_0}$$

Equation N°8

Les résultats obtenus sont présentés par deux modèles thermodynamiques afin de déterminer lequel d'entre eux est plus adéquat pour la présentation des résultats expérimentaux de cette étude.

Conclusion

Conclusion

Le phénomène de pénurie d'eau, et pour s'en débarrasser nous nous sommes appuyés sur la technologie de dessalement de l'eau de mer, mais cela a des effets dus à la solution de saumure, et pour le traiter nous avons mis en place le procédé d'adsorption, et à travers cette étude sur un laboratoire échelle, l'intérêt conduit à l'utilisation pratique et économique de l'argile (bentonite).

L'objectif de cette étude est de transmettre la sorption de la bentonite modifiée par (NH_4Cl) sur la saumure.

1- pour maintenir les résultats concernant l'élimination du la saumure ont été obtenus pour une bentonite activée 35%, et un temps d'activation de 24 h.

2- l'adsorption du la saumure atteint un maximum de 2.06 mg/g au bout de 210 min. cette cinétique plus au moins lent montre qu'il s'agit d'une adsorption chimique en outre de la physisorption.

3- l'augmentation de la masse de bentonite activée de (0.2 à 1.6) g augmente le taux de l'élimination de NaNO_3 de 48.94% à 57.8%

4- l'augmentation de la température à (25 à 60) °C provoque une diminution de quantité d'adsorbat (Q_e) de 0.4 à -0.28 cela indique une diminution de l'absorption ce que nous signifie qu'il y avait une désorption

5- le meilleur modèle qui représente les résultats expérimentaux de la cinétique d'adsorption est le modèle du pseudo-second-ordre.

6- les isothermes d'adsorption sont tous bien décrits par le modèle Freundlich.

7- le processus d'élimination est spontané (ΔG°) et endothermique ($\Delta H^\circ > 0$).

Nous avons conclu de cette étude que la masse de bentonite (1.4g) et le temps de contact (210min) avec une température $< 25^\circ\text{C}$, la capacité d'adsorption de la bentonite activée pour la saumure est très élevée.

Il faut signaler que le taux de salinité des eaux de mer est en augmentation continue nous devons déclencher l'alarme pour préserver notre planète.

Références Bibliographiques

- [1] : BAKHTA, C, Impact du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement cas de la station de MAINIS.WILAYA DE CHLEF. Université de CHLEF, 2010.
- [2] : Hadil, A. and M. Abdelkarim, ETUDE ÉCONOMIQUE ET IMPACT ECOLOGIQUE DE LA STATION DE DESSALEMENT DE HONAÏNE (W.TLEMCEN). Université Kasdi Merbah Ouargla, 2013.
- [3]: ROULIAM. ETA .A. VASSILIADIS (2005). Interactions between C.I.Basic Blue41 And aluminosilicate sorbents. J. Colloid Interf. Sci., 291, 37-44.
- [4]: TANI.A.W, B. H. HAMEED et A. L. Ahmad (2007).Equilibrium and kinetic studies On basic dye adsorption by oil palm fiber activated carbon. Chem. Eng. J., 127,111-119.
- [5] :O.M.S, 1986 ; « Directives de qualité pour l'eau de boisson ». Vol. 3 : contrôle de la qualité de l'eau de boisson destinée à l'approvisionnement des petites collectivités. Genève.
- [6]:THIELBORGER, P, the righth (s) to water Ed.springer –verlag. Berlin 231p, 2014.
- [7]: OLIVAUX Y, la nature de l'eau, Ed, Marco peietteur, France 563p, 2007
- [8]: DESJARDINS, (1990).
- [9]: DEGREMONT, «Mémento technique de l'eau », Deuxième édition Tom1, (2005). 3950
- [10] : site aquaporttall.com
- [11] : HENRI, L., KAMEL, F, Dessalement de l'eau de mer et des saumâtres par Osmose Inverse, Middle East Desalination Research Center en collaboration avec L'université Saad Dahlab de Blida, Algérie, Janvier 2008.
- [12]: 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 Abrouk Abdelah, 100 pages, 2013.
- [13] : RODIER. J et al, 2009 ; « L'analyse de l'eau ». 9ème Ed. Dunod. France
- [14]: MOULIN, B, Le kayak et la mer, édition le Canotier, 2004.
- [15]: DEGREMONT, (2005), Mémento technique de l'eau, Tome 1, France.
- [16]: HABET, L, Contribution à l'étude des impacts du dessalement des eaux de mer sur L'environnement, Mémoire de Magister, Université M'Hamed Bougara Boumerdes,

153pages, 2012.

[17] : site cap.sience.net

[18] : Maurel A, Dessalement de l'eau de mer des eaux saumâtres et d'autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. Technique et Documentation 2^{ème} édition (2006).

[19] : Le magazine de chronique scientifique, le dessalement de l'eau de mer PDF, N°4/ Juilly et Aout 2005.

[20] :TANSAKUL, C. Procédés hybrides à membranes pour le prétraitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse, Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 182 pages, 2009.

[21]: BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES (BRGM) : Quelles techniques pour quels traitement- analyse coûts, bénéfices, Rapport BRGM/ RP-58609 FR, Orléans, France, Juin 2010.

[22]: H, HECTOR, « supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable », Thèse de Doctorat. Institut national de sciences appliquées de Toulouse, (2006).

[23]: B, CHENAOU, Dessalement de l'eau de mer à la station de MAINIS et son impact sur l'environnement, thèse d'ingénieur, Université de Chlef, 2010.

[24]: Mandri, étude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froide, Thèse de doctorat de l'université Claude Bernard Lyon 2006.

[25]:P, DANI, Dessalement de l'eau de mer, Technique de l'ingénieur, Traité génie des procédés référence ; J 2700-18, 2003.

[26] : RENAUDIN, V, Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, Revue, Nancy Brabois : Educsol, 18 novembre 2003.

[27] : Publication- Copyright : libre, sous réserve de mentionner l'origine ARCEA/GASN supplément au journal « Uranie» de l'ARCEA/Gif N°ISSN 1637.4916- Dépôt légal : 2 semestre 2008. Fiche N° 32 Dessalement.

[28]: ARZATE, A, Procédé de séparation membranaire et leurs applications dans l'industrie alimentaire, Revue de littérature, Centre de recherche, de développement et de transfert technologique acéricole inc, référence 642-RVL-0508,Saint-Norbert d'Arthabaska, 2008.

[29]: SAGNE, C, Etude des mécanismes de transfert de molécules organiques en osmose inverse, Thèse de doctorat, Spécialité génie des procédés, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech), 2008.

[30]: MORSLI, M, S, Impacts des arrêts Techniques de l'usine de dessalement de l'eau de mer sur l'entreprise et l'environnement, Mémoire de Magister en Management, Université d'Oran, 203 pages, 2013.

[31]: BRIBIESKA, A, Colmatage des membranes par les minéraux et les protéines en cours d'électrodialyse conventionnelle, Collection des thèses et mémoires électroniques, 2005.

[32]: ATALLAH, A, Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée de la station HONAIN. Mémoire de fin d'étude, Master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 99 pages, 2014.

[33] : KEHAL, Rétrospective et perspectives du dessalement en Algérie, Elsevier de salination 136 ; 35-42 ,2000.

[34]: site Emese.Fr

[35]: SABER N, « l'eau, c'est la vie ». Energie et mines, Avril 2004.

[36]: Loren BERTHET, Isabelle JACQUET, Audrey PROVASI Ethique des Affaires master2 (2005-2006) : « l'eau gratuite c'est fini ? » Grenoble I.A.E. consulté le 01/05/2014.

[37]: BERTHET, la territorialisation des politiques d'emploi en questions, Bordeaux, Presses Universitaires de Bordeaux, (Politiques du social), 2005.

[38]: UNEP. « Programme des Nations Unies pour l'Environnement »,07 mai 2001.

[39]: Tinyurl.com, « commission européenne- Energie& Transport : figures and main facts»,2007.

[40]: UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP), Impacts environnementaux du dessalement d'eau de mer, Posté par Jean-Luc Dothee, 17 février 2003.

[41]: UNEP, «An Approach to Environmental Impact Assessment for Projects Affecting the Coastal and Marine Environment». Regional Seas Reports and Studies No. 122, 1990.

[42] HOEPNER H, «a procedure for Environmental Impact Assessments (EIA) for seawater desalination plants», 1999.

[43]: ARGYROU M, «Impact of Desalination Plant on marine macrobenthos in the coastal waters of De hkelia bay, Cyprus». Internal Report, 2000.

[44]: R. EINAV, K. HAMSSIB et D. PERIYB, «The footprint of the desalination processes on the environment» Desalination. Vol 152 p 141-154, 2002

[45] : EMNA ERRAIS, thèse du diplôme de docteur de l'université de STRASBOURG (géochimie de l'environnement), réactivité de surface d'argiles naturelles. Etude de l'adsorption de colorants anioniques, 21/03/2011, P47, 58, 59.

[46] : EMILIAN KOLLER, Génie chimique, Robert L., « Techniques de l'ingénieur - Génie des procédés », Adsorption. Ruthven D. M., Principles of adsorption and adsorption process, John Wiley, 1984 p 397

[47]: J.F.LEPAGE, catalyse de contact –conception, préparation et mise en œuvre des catalyseurs industriels, Edition technique, 1978.

[48]: A.KHARFALLAH, les caractéristiques cinétiques, thermodynamique et d'équilibre de l'adsorption du bleu de méthylène sur le sable de mer, mémoire de master, université LARBI BEN M'HIDI-OUIM EL BOUAGHI, 2003.

[49]: N.BERKA, l'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photocatalytiques TiO_2 supporté, thèse de doctorat, université IBN ZOHIR-AGADIR, 2008.

[50] : LIANG-MING SUN et FRANCIS MEUNIER, technique de l'ingénieur, traité Génie des procédés, adsorption aspects théoriques, centre FRANÇIAS, P J2730-3.

[51] : M. S.OULI, cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux, office des publications universitaire, 2008

[52] : S. E. CHITOUR, chimie de surfaces, introduction à la catalyse, Edition OPU Alger (1981).

[53]: BARRER. ZEOLITES and CLAY MINERALS adsorbent and molecular SIEVES.

[54]:INDUSTRIAL ALUMINA CHEMICALS. ACS MONOGRAPH 184. 1986.

[55]: MORENO-CASTILLA, C. Adsorption of organic molecules from aqueous solution on carbon materials, carbon, 42, 83, 94. 2004.

- [56] : AFNOR. La qualité des sols, thermologie, échantillonnage, contrôle et qualité. Tomme 1. Editor AFNOR, 1996, Paris, p 299-310.
- [57] : S. CHITOUR, chimie physique des phénomènes de surface, OPU, Alger, 1976.
- [58] : F. EDELINE, l'épuration physico-chimique, théorie et technologie des eaux ED, CEBEDOC SPRL Liège, 1998.
- [59] : W. J. MESSCHELEIN. Processus unitaires du traitement de l'eau potable. ED, CEBEDOCSPRL Liège 1996.
- [60]: R. CALVET, le sol, propriété et fonctions, tome 1 constitution et structure, phénomènes aux interfaces, Editions France Agricole, 2003, P318.
- [61]:Brevet APG-RCC : PCT / FR 99 / 00748 du 31 mars 1999.
- [62] : J. Jimmy, L. HUMPHRY, E. George, Procédé de séparation, Technique sélection, Dimensionnement, DUNOD 2001
- [63] : O. ABID, Adsorption par le charbon actif de micropolluants organiques en solutions Aqueuse, Thèse Institut Nationale polytechnique de Toulouse (1987).
- [64] : DIPA ET COLL, 2002 ; AVOM ET COLL., 2001.
- [65] : DEMRIBAS et coll, 2006 ; Gilles et coll., 1960
- [66]: G. D. Halsey. The role of surface heterogeneity. Advan. catalysis, 1952, 4,259-269.
- [67] : Louis Robert, opération unitaire << adsorption >> technique de l'ingénieur (2000), J.2730 a-9
- [68] : CASSAN PH, BAGLIN A, FRIT D(1976) Les hyperoxaluries. Revue de médecine 17, p803-808. (cinétique bédada)
- [69]: JUNGERS P, DAUDON M, Le Duc A (1989) lithiases calciques secondaires. Ln << lithiase urinaire >>.
- [70]: KAYODE O.A, UNUABONAH E.I, OLU-OWOLABI B.I., KINETIC and thermodynamique aspects of the adsorption of Pb²⁺ and
- [71] : S.TERCHI, Adsorption Du bore en solution Aqueuse Essais de Dépollution, Mémoire de magistère, Université MENTOURI-CONSTANTINE, 2009.

[72]: SHERMA Y.C, WENG C.H, REMOVAL OF CHROMIUM (VI) from water and Waste Water by using riverbed sand: KINETICAN DÉQUILIBRIUM studies. Journal of Hazardous Matériels 142,449

[73]: L. AMALRIC, C. GUILLARD, E. Blanc-BRUDE, P. PICHAT, Water Res.30 (1996), Pages (1137-1142).

[74] : www.igz.ch

[75]: Kaouther BEN AZOUZ A, 2010. Relations entre propriétés rhéologiques et structure microscopique de dispersions de particules d'argile dans des solutions de polymères. UNIVERSITÉ DE HAUTE ALSACE.p5.

[76]:HAZMOUNE H. approche des études géotechniques liéesa la pathologie des ouvrages : étude de cas. Pour l'obtention du diplôme de magistère en génie civil, UNIVERSITEMENTOURI, CONSTANTINE. p 6.

[77]:Tesina G, 2010. Analyse du phénomène de retrait gonflement des milieux argileux: impact environnemental et impact de la sécheresse sur le bâti. Pour l'obtention du diplôme de magistère. p9.

[78]:BOUKADAH N, 2007. ETUDE DE L'ADSORPTION DE MICROPOLLUANTS ORGANIQUES SUR LA BENTONITE mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme magister, à l'Université 20 Août 55, Skikda .p 38.

[79]:BOUKADAH N, 2007.ETUDE DE L'ADSORPTION DE MICROPOLLUANTS ORGANIQUES SUR LA BENTONITE mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme magister, à l'Université 20 Août 55, Skikda.p39.

[80] : BatouchekH. 2010. Intercalation de liquides ioniques dans les argiles. Pour l'obtention du diplôme de magistère Université de constantine.p8.

[81]:MOUSSAOUIZ. 2012 .Intercalation de dendromètres à travers la et bentonites sodiques. Pour l'obtention du diplôme de magistère, UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEEN.p19.et mémoire BOUKADAH N.p40.

[82]:KANOURI R et LABIDE A, 2013. Adsorption du phénol sur la bentonite de Magnai. Pour l'obtention du diplôme de magistère UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.p7.

[83]:KANOURI R et LABIDE A. 2013 .Adsorption du phénol sur la bentonite de Magnai. Pour l'obtention du diplôme de magistère, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.p7.

[84]:CHIKHIKH. 2013. Adsorption du zinc sur la bentonite de Magnai. Pour l'obtention du diplôme de magistère, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.p7.