

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Centre Universitaire d'Ain Témouchent



Institut des Sciences et de la Technologie
Département de Génie de l'Eau et de l'Environnement

PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master en :

Domaine : SCIENCE ET TECHNOLOGIE

Filière : HYDRAULIQUE

Spécialité : HYDRAULIQUE URBAINE

Thème

Valorisation des saumures et réduction de la salinité de eaux de la
SDEM de Chatt El Hilal (BWC).

Présenté Par :

- FEKIH Wefaa
- HEDJINE Aicha

Présenté le 29 Juin 2019 devant le jury composé de :

M ^{me} BENCHAKOUR.H	MAA	CUAT	Président
M ^r BENMIA.K	Cadre technique	DRE	Examineur
M ^r GUEMOU.B	MCA	CUAT	Encadreur

Année universitaire 2018/2019

Résumé

L'augmentation de la population et l'insuffisance des ressources en eau douce dans de nombreux pays du monde posent un problème de pénurie de l'eau potable. Le dessalement de l'eau de mer est la solution adéquate face à cette problématique.

En plus du prix de revient du mètre cube et l'entretien des unités de OI, des problèmes peuvent se poser pour les rejets de saumures qui sont évacués aux larges et éventuellement dilués par les courants marins.

Vue le nombre important d'installations de dessalement dans la mer méditerranéenne d'un coté et sa nature semi fermée de l'autre coté, l'équilibre de la salinité et de ce fait la biodiversité aquatique est mise en jeu.

Notre approche consiste à valoriser les eaux de saumures par la réduction de leur salinité en utilisant la méthode de l'électrolyse. Les résultats obtenus montrent qu'on peut réduire jusqu'à 1213.8 tonne/jrs de sels en produisant de l'eau de javel.

Valoriser cette quantité en n'importe quel produit (sels de table, sels de dégivrage de route, ...) constitue un gain à l'économie nationale et une menace de moins à l'écosystème sous-marin.

Mot clé : dessalement, la saumure, valorisation, électrolyse.

Abstract

Increasing populations and insufficient freshwater resources in many countries around the world pose a problem of shortage of drinking water. Desalination of seawater is the appropriate solution to this problem.

In addition to the cost per cubic meter and the maintenance of the units of OI, problems may arise for the discharge of brines that are discharged to large and possibly diluted by sea currents.

Given the large number of desalination plants in the Mediterranean Sea on one side and its semi-closed nature on the other side, the balance of salinity and therefore aquatic biodiversity is at stake.

Our approach is to valorize brine waters by reducing their salinity using the electrolysis method. The results obtained show that it is possible to reduce up to 1213.8 tons / day of salts by producing bleach.

Valuing this quantity in any product (table salts, road de-icing salts, ...) is a gain to the national economy and a threat to the underwater ecosystem.

Keyword: desalination, brine, upgrading, electrolysis.

ملخص

زيادة عدد السكان ونقص موارد المياه العذبة في العديد من البلدان في جميع أنحاء العالم تشكل مشكلة نقص مياه الشرب. تحلية مياه البحر هي الحل المناسب لهذه المشكلة.

بالإضافة إلى تكلفة المتر المكعب وصيانة وحدات التناضح العكسي ، قد تنشأ مشاكل لرفض المحاليل الملحية التي يتم تصريفها بشكل كبير جداً وربما تضعفها التيارات البحرية.

بالنظر إلى العدد الكبير من محطات تحلية المياه في البحر الأبيض المتوسط من جهة وطبيعتها شبه المغلقة من جهة أخرى ، فإن التوازن بين الملوحة وبالتالي التنوع البيولوجي المائي في خطر.

نهجنا هو تجميع المياه المالحة عن طريق الحد من ملوحتها عن طريق طريقة التحليل الكهربائي. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أنه من الممكن تقليل تصل إلى 1213.8 طن / يوم من الأملاح عن طريق إنتاج التبييض.

يمثل تجميع هذه الكمية في أي منتج (أملاح المائدة ، أملاح إزالة الجليد ، ...) مكسباً للاقتصاد الوطني وتهديداً للنظام البيئي تحت الماء.

الكلمة الأساسية: تحلية المياه ، محلول ملحي ، تجميع ، التحليل الكهربائي.

Remerciements

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma reconnaissance.

Tout d'abord, je tiens à remercier le bon Dieu le tout.
Je tiens à remercier tous ceux et celle qui ont contribué à finaliser ce modeste travail.

Nos sincères gratitude à Mr. Guemou pour la qualité de son enseignement, ses conseils et son intérêt incontestable qu'il porte à tous les étudiants.

Nous tenons à remercier les membres du jury qui ont accepté de siéger cette soutenance afin d'examiner notre travail et de l'évaluer.

Nous tenons à remercier Mr Beldjillali doctorant de laboratoire de chimie appliqué ; Mm Amina ingénieure de laboratoire ; l'équipe de station de dessalement ; ainsi l'équipe de la station de SKI « Osman .M ; Sabine ; Fekih.M et monsieur le directeur Chealal .A

Dans l'impossibilité de citer tous les noms, nos sincèrement vont à tous ceux et celles, qui de près ou de loin, ont permis par leurs conseils et leurs compétences à la réalisation de cette mémoire et nous remercions tous nos enseignantes et enseignants durant le cursus universitaire.

F. Wajaa, H. Aicha

DÉDICACE

Au cœur ouvert et avec une immense joie, je dédie ce modeste travail et spécialement :

A ma chère mère et mon père qui m'ont toujours soutenu et aidé à affronter les difficultés

Et bien sur A mes chères sœurs, leurs patiences, pour leur soutien moral et leurs sacrifices le long de mes études, sans oublié mes neveux que j'aime beaucoup

A tous les membres de ma famille, petits et grands, veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection

A tous mes collègues et amis en particulier Aicha, Ikram, Meriem, Soraya.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci

Fekih Wefaa

Je dédie ce travail

*À ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui :

*À ma chère maman qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'étude ; source de ma vie , d'amour et tendresse qui n'a pas cessé de prier pour moi .vous m'avez toujours aidé par vos conseils et vos sacrifices. Puisse dieu le tout puissant t'accorder meilleure santé et longue vie.

*À mon cher père le premier homme de ma vie, source d'amour, d'affection, de sacrifices. tu étais toujours là près de moi pour me soutenir, m'encourager et me guider avec tes précieux conseils. Aucun dédicace ne saurait exprimer l'amour et l'admiration que je porte au grand homme que vous êtes. Puisse dieu le tout puissant, vous préserver et vous accorder santé., longue vie et bonheur.

*À mon cher frère karim que dieu te garde, je te souhaite tout plein de succès, de joie et de bonheur que tu mérites.

*À mon fiancé M pour leur soutien et leur sentiments d'amour aux moments les plus difficiles. je te souhaite tout le bonheur , que dieu te garde et illumine tes chemins.

*À mes cousins et cousines

*À tous mes collègues et amis du master spécialisé hydraulique hurbain.

*À mes meilleures amies, le groupe « best freinds for ever » wafaa ; ikram ; meriem ; soraya ;merci pour les très bons moments qu'on avait partagé ensemble. Je vous aime toutes.

*À tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Kedjine Aicha

Résumé

L'augmentation de la population et l'insuffisance des ressources en eau douce dans de nombreux pays du monde posent un problème de pénurie de l'eau potable. Le dessalement de l'eau de mer est la solution adéquate face à cette problématique.

En plus du prix de revient du mètre cube et l'entretien des unités de OI, des problèmes peuvent se poser pour les rejets de saumures qui sont évacués aux larges et éventuellement dilués par les courants marins.

Vue le nombre important d'installations de dessalement dans la mer méditerranéenne d'un coté et sa nature semi fermée de l'autre coté, l'équilibre de la salinité et de ce fait la biodiversité aquatique est mise en jeu.

Notre approche consiste à valoriser les eaux de saumures par la réduction de leur salinité en utilisant la méthode de l'électrolyse. Les résultats obtenus montrent qu'on peut réduire jusqu'à 1213.8 tonne/jrs de sels en produisant de l'eau de javel.

Valoriser cette quantité en n'importe quel produit (sels de table, sels de dégivrage de route,) constitue un gain à l'économie national et une menace de moins à l'écosystème sous-marin.

Mot clé : dessalement, la saumure, valorisation, électrolyse.

Abstract

Increasing populations and insufficient freshwater resources in many countries around the world pose a problem of shortage of drinking water. Desalination of seawater is the appropriate solution to this problem.

In addition to the cost per cubic meter and the maintenance of the units of OI, problems may arise for the discharge of brines that are discharged to large and possibly diluted by sea currents.

Given the large number of desalination plants in the Mediterranean Sea on one side and its semi-closed nature on the other side, the balance of salinity and therefore aquatic biodiversity is at stake.

Our approach is to valorize brine waters by reducing their salinity using the electrolysis method. The results obtained show that it is possible to reduce up to 1213.8 tons / day of salts by producing bleach.

Valuing this quantity in any product (table salts, road de-icing salts, ...) is a gain to the national economy and a threat to the underwater ecosystem.

Keyword: desalination, brine, upgrading, electrolysis.

ملخص

زيادة عدد السكان ونقص موارد المياه العذبة في العديد من البلدان في جميع أنحاء العالم تشكل مشكلة نقص مياه الشرب. تحلية مياه البحر هي الحل المناسب لهذه المشكلة.

بالإضافة إلى تكلفة المتر المكعب وصيانة وحدات التناضح العكسي ، قد تنشأ مشاكل لرفض المحاليل الملحية التي يتم تصريفها بشكل كبير جداً وربما تضعفها التيارات البحرية.

بالنظر إلى العدد الكبير من محطات تحلية المياه في البحر الأبيض المتوسط من جهة وطبيعتها شبه المغلقة من جهة أخرى ، فإن التوازن بين الملوحة وبالتالي التنوع البيولوجي المائي في خطر.

نهجنا هو تميم المياه المالحة عن طريق الحد من ملوحتها عن طريق طريقة التحليل الكهربائي. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أنه من الممكن تقليل تصل إلى 1213.8 طن / يوم من الأملاح عن طريق إنتاج التبييض يمثل تميم هذه الكمية في أي منتج (أملاح المائدة ، أملاح إزالة الجليد ، ...) مكسباً للاقتصاد الوطني وتهديداً للنظام البيئي تحت الماء.

الكلمة الأساسية: تحلية المياه ، محلول ملحي ، تميم ، التحليل الكهربائي

TABLE DES MATIERES

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des photos

Liste des abréviations

Introduction générale 01

Chapitre 01 : généralités sur l'eau

1. Introduction04

2. L'eau dans le monde05

2.1 Les différentes utilisations d'eau.....07

2.2 Les pays riches et les pays pauvres en eau08

2.3 La pénurie d'eau09

3. L'eau en Algérie09

3.1 élément de géographie et d'hydrographie de l'Algérie09

3.2. La gestion des ressources en eau.....11

3.3 Classification des ressources en eau12

3.3.1 Les ressources conventionnelles13

Les ressources en eaux superficielles13

➤ Ressources souterraines14

3.3.2 Les eaux non-conventionnelles14

➤ Les eaux usées14

➤ Dessalement de l'eau de mer15

3.4 La rareté de ressource15

3.5 Une législation claire, moderne, intégrant le concept de gestion durable des ressources15

4.Dessalement.....16

4.1Historique de dessalement16

4.2 Définition de dessalement.....16

4.3 Principe16

4.4Situation du dessalement dans le monde et place de la méditerranée16

4.4.1 Les grandes usines de dessalement dans le monde	18
4.5 Algérie dessalement urbain massif.....	19
5. Conclusion.....	20

Chapitre 02 : Le dessalement de l'eau de mer

1.Introduction.....	22
2.les caractéristiques des eaux de mer et des eaux saumâtres.....	23
2.1les eaux marines.....	23
2.2Les eaux saumâtres	23
3.Composition de l'eau de mer.....	23
3.1 Composition minérale de l'eau de mer	23
3.2Composition en gaz dissous de l'eau de mer	25
3.3Composition organique de l'eau de mer	25
4.Les différents procédés de dessalement	26
4.1 La distillation.....	27
4.1.1distillation a simple effet	27
4.1.2 La distillation a multiple effet	27
4.1.3 La distillation à détente étagés MSF	28
4.1.4 Procédé par détentes successives ou procédé flash	29
4.1.5 Distillation par compression de vapeur	30
4.2 Les procédés membranaires	31
4.2.1 Définition.....	31
4.2.2 Classification des procédés membranaires	32
4.2.3 Osmose inverse	34
a. Osmose direct	34
b. Osmose inverse.....	35
4.2.3Electrodialyse	36
4.3 Autres procédés	38
4.3.1 Echange ionique	38

4.3.2	Dessalement par congélation	38
4.3.3	Distillation solaire	38
5.	Les avantages et les inconvénients de dessalement	39
6.	Conclusion	40

Chapitre 03 : impact environnemental et valorisation des saumures de la SDEM

1.	Introduction	42
2.	Présentation de la station de dessalement Chatt El Hilal	43
2.1	Intervenants dans le projet.....	43
2.2	Présentation de la station Beni Saf.....	44
2.3	Processus de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse.....	44
2.4	Description du fonctionnement de la station de dessalement d'eau de.....	45
2.4.1.	Captage d'eau de mer	45
2.5	La station de pompage	46
2.6	Filtration par filtres à sable.....	47
2.7	Filtrage à anthracite	48
2.8	Filtration par cartouches.....	48
2.9	Post d'osmose inverse	49
2.10	Poste traitement.....	51
2.10.1	La neutralisation (Ajustement du pH).....	51
2.11	Poste chloration	52
2.12	Les rejets de la station.....	52
3.	La saumure	54
3.1	Définition.....	54
4.	Impact de la station de dessalement sur l'environnement	54
a.	Impacts positifs	54
b.	Impacts négatif	54
5.	Impacts de la saumure sur l'environnement	56

6. la valorisation des eaux de saumures	58
7. Conclusion.....	59

Chapitre 04 : L'électrolyse

1.Introduction.....	61
2.Présentation de SKT.....	62
2.1Définition	62
2.2 Site	63
2.3 Le rôle de centrale	63
2.4 Alimentation de la centrale	63
2.5 Cycle combinée mono-arbre(ou single shaft)KA26-1	64
2.5.1 Turbine à gaz.....	64
2.5.2 Alternateur.....	66
2.5.3 Turbine à vapeur	67
2.5.4 Chaudière de récupération HRSG.....	68
2.5.5 Condenseur.....	69
2.6 Station de pompage E02.....	71
2.7 station de pompage E04.....	72
2.8 Electrochloration.....	73
2.9 Station de dessalement.....	74
2.10 Unité déminéralisation.....	76
2.11 Les autres auxiliaires de la centrale.....	77
3. Electrolyse	80
3.1 Définition et principe	80
4. Les lois qualitatives de l'électrolyse	81
5. Principe électrochloration	82
6. La spectrophotométrie UV-Visible.....	84
6.1 Définition.....	84
7.Principe de la spectrophotométrie UV-visible.....	84
8.Conclusion.....	85

Chapitre 05 : L'étude expérimentale

1. Introduction	87
2. Objectif.....	88
3. Matériel utilisé	88
4. Mode opératoire	91
5. Résultat et discussion.....	92
a. 1^{ère} essai de 9V.....	92
b. 2^{ème} essai de 12V.....	96
c. 3^{ème} essai de 18V.....	100
6. Spectrophotométrie.....	105
7. Les expériences sous le microscope électronique à balayage (MEB).....	109
Conclusion générale	112

Liste des figures

Figure 01 : l'eau potable dans le monde.....	02
Figure2 : Les 3 états de l'eau sur terre	05
Figure 3 : disponibilité d'eau douce dans le monde.....	06
Figure 4 : différents usages d'eau.....	07
Figure 5 : carte des pays riches et pauvre en ressources d'eau dans le monde.....	08
Figure 6 : carte de monde de la différente capacité de dessalement.....	18
Figure 7 : Les procédés de dessalement.....	26
Figure 8 : distillation simple effet.....	27
Figure 9 : distillation multiple effet.....	28
Figure 10 : La distillation à détente étagés MSF.....	29
Figure 11 : Procédé par détente successives ou procédé flash.....	30
Figure 12 : Distillation par compression de vapeur.....	31
Figure 13 : Schéma du principe du fonctionnement d'une membrane.....	32
Figure 14 : Échelle de classification des méthodes de séparation membranaire.....	32
Figure 15 : Filtration tangentielle.....	33
Figure 16 : osmose direct.....	34
Figure 17 : osmose inverse.....	35
Figure 18 : procédé électrodialyse.....	37
Figure19 : Situation géographique de dessalement de Beni Saf.....	43
Figure 20 : Organigramme de la station.....	44
Figure 21 : Le processus de station.....	45
Figure22 : impacts de saumures sur l'environnement.....	55
Figure23 : SHARIKET KAHRABA TERGA.....	62
Figure 24 : VUE GENERALE DES COMPOSANTS ET SYSTEMES MAJEURS.....	64
Figure25 : turbine à gaz GT26.....	65
Figure 26 : Alternateur.....	66

Figure 27 : turbine à vapeur.....	67
Figure28 : chaudière de récupération.....	68
Figure 29 : Cycle eau/vapeur.....	70
Figure 30 : station de pompage	71
Figure 31 : station de pompage E04.....	72
Figure 32 : station electrochloration	73
Figure33 : unité déminéralisation	77
Figure 34 : une unité d'injection de phosphate	77
Figure 35 : ne unité d'injection d'ammoniac	78
Figure 36 : principe électrolyse.....	80
Figure 37 : électrolyse.....	81
Figure 38 : principe électro chloration	82
Figure 39 : Schéma de principe d'un spectrophotomètre à double faisceau.....	84
Figure 40 : graphe de température et PH en fonction du temps de 1 ^{ère} essais.....	92
Figure 41 : graphe de température et PH en fonction du temps de 2 ^{ème} essai.....	96
Figure 42 : graphe de température et PH en fonction du temps de 3 ^{ème} essai.....	100
Figure 43 : graphe eau de mer, saumures	105
Figure 44 : graphe eau de mer, eau distillé avec NaCl et sel+ eau décanté distillé.....	106
Figure 45 : les graphes eau de mer, eau distillé avec NaCl, saumures, eau de javel 12°, eau de javel dilué, eau de javel doublement dilué, solutions de 3 essais.....	107
Figure 46 : graphe de l'eau de javel doublement dilué, solutions de les 2 essais 12V et 18V eau de javel triplement dilué.....	108
Figure 47 : les graphes de l'eau de javel triplement dilué et solution de l'essai 18V.....	106
Figure 48 : courbe de composition du sel extraite du MEB	109

Liste des tableaux

Tableau 01 : Variation de la lame d'eau.....	12
Tableau 02 : potentielle en eau de surface.....	12
Tableau 03 : les ressources globales en eaux du pays.....	12
Tableau 04 : Evolution des volumes d'eaux usées rejeté en Algérie.....	14
Tableau 05 : Composition de l'eau de mer.....	24
Tableau 06 : Pression osmotique de quelques solutions aqueuses en fonction de leur concentration.....	36
Tableau07 : Résulta des analyses de eau d'entrer et la saumure de BWC.....	56
Tableau08 : résumé de prétraitement et pot-traitement au cours de la production d'eau potable	57
Tableau 09 : Signification de (3 x 400 MW-KA26-1 SS).....	63
Tableau 10 : résultat de laboratoire de 1 ^{ère} essais.....	92
Tableau 11 : résultat de laboratoire de 2 ^{ème} essais.....	96
Tableau 12 : résultat de laboratoire de 3 ^{ème} essai.....	100

Liste des photos

Photo 01: la tour de captage.....	45
Photo02 : Les grilles amovibles.....	46
Photo03 : pompes de pompage et bassin de stockage.....	46
Photo 04 : module de filtre à sable	47
Photo05 : zone des filtres à sable et à anthracite de la SDEM de Béni Saf.....	48
Photo 06 : Les filtres à cartouches.....	48
Photo07 : Les cartouches d'utiliser.....	49
Photo 08: la zone de production de la SDEM de Béni Saf.....	50
Photo09 : Le collecteur de l'eau produit.....	51
Photo 10: Les chambres de l'eau produite.....	51
Photo11 : La calcite.....	51
Photo 12 : Bâtiment d'eau produite.....	52
Photo13 : Bassin de saumure.....	52
Photo14 : La citerne d'amortisseur les chocs.....	53
Photo15 : unité de station de dessalement	75
Photo 16 : chambre flash de dessalement	76
Photo 17 : Le poste échantillonnage sampling.....	78
Photo 18 : Le laboratoire des analyses chimiques.....	79
Photo 19 : Pipete 25 ml et Pro-pipete.....	88
Photo 20 : balance sensible.....	89
Photo 21 : fiole et entonnoir.....	89
Photo 22 : arbre de pile.....	90
Photo 23 : bicher, saumure, les câbles et générateur.....	90
Photo 24 : montage de l'expérience.....	91
Photo 25 : décantation des sédiments pendant l'essai.....	93
Photo 26 : Changement de couleur pendant l'essai.....	93

Photo 27 : sédiment filtré.....	95
Photo 28 : changement de couleur avant 15 min.....	97
Photo 29 : décantation des sédiments après 1h.....	97
Photo 30 : sédiments filtré de l'essai 12V.....	99
Photo 31 : changement de couleur avant 5 min de commencement.....	101
Photo 32 : décantation des sédiments après 1h de l'expérience.....	101
Photo 33 : sédiments filtré de l'essai 18V.....	103
Photo 34 : les sédiments de 3 essais.....	104
Photo 35 : échantillon de microscope électronique a balayage (MEB).....	109

Liste des abréviations

BWC : Beni-Saf Water Company

SKT : SHARIKET KAHRABA TERGA

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

OI : Osmose Inverse

GWP : Global Warming Potential

AEP : Alimentation en Eau Potable

COP : Carbone organique particulaire

COT : Carbone organique totale

COD : Carbone organique dissous

MOP : Matière Organique Particulaire

NOP : Azote Organique Particulaire

T : Température

MES : Matière En Suspension

DBO : Demande Biochimique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

MOD : Matière Organique Dissoute

Cu : Cuivre

Fr : Francium

Al : Aluminium

Mn : Manganisme

Zn : Zinc

MgCl₂ : chlorure de magnésium

MgCO₃ : Carbonate de magnésium

NaCl : chlorure sodium

Na : sodium

CaSO₄ : Calcium Sulfate

K₂ SO₄ : Dipotassium Sulphate

Cl : Chlore

CaCO₃ : Carbonate de calcium

E : impact de degré élevé

F : impact de degré faible

M : impact de degré moyen

°C : degré Celsius

g : Gramme

mg/l : milligramme par litre

Kg : Kilogramme

m : Mètre

m³ : Mètre cube

Km : Kilomètre

km³ : Kilomètre cube

m³/j : Mètre cube par jour

m³/an : Mètre cube par ans

g/l : Gramme par litre

ml : Millilitre

DD : Eau de javel diluée doublement

DDD : Eau de javel diluée triplement

% : Pourcentage

Référence

[1] Mr. KHETTAB Omar El Farouk Mr. RAHMOUN Hadj Boumediene, Conception et élaboration d'un simulateur de consommation d'eau domestique, département Hydraulique, Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen, mestre 2, 2017

[2] BANDELIER Philippe, Article : 121 Le dessalement d'eau de mer et des eaux saumâtres, encyclopédie de l'énergie, vol 02, 17 janv

[3] M^{elle} Mostefaoui Leïla, Dessalement d'eau de mer par osmose inverse, fonctionnement et effets des paramètres sur le rendement, Département de Génie de l'eau et de l'environnement, CUAT, mestre 2, 2016.

[4] M^{elle} DJERMOUNE LAMIA gestion et valorisation des ressources en eau : cas de la daïra de kherrata (béjaia), Département des sciences économiques, université de Béjaia, master 2, 17 septembre 2017

[5] ROUISSAT Bouchrit, La gestion des ressources en eau en Algérie : Situation, défis et apport de l'approche systémique,

[6] CHAIB Fatima Zahraa BENKRAMA Fatima Zohra, Dessalement d'eau de mer dans la willaya d'AIN TEMOUCHENT (cas de la station de Chat El Hillel "Béni Saf"), Département de Génie de l'Eau et de l'Environnement, CUAT, de master 2, 1 juin 2014

[7] ABIBSI Nadjet, REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES PAR FILTRES PLANTES (PHYTOEPURATION) POUR L'IRRIGATION DES ESPACES VERTS APPLICATION Á UN QUARTIER DE LA VILLE DE BISKRA, Département de Génie Civil et Hydraulique, université de MOHAMED KHIDER -BISKRA-, mestre 2, 2011.

[8] Mohammed Benblidia Gaëlle, Thivet Gestion des ressources en eau : les limites d'une politique de l'offre, Les Notes d'analyse du CIHEA, N° 58 – Mai 2010.

[9] Mebarki Azeddine, La région du Maghreb face à la rareté de l'eau. L'exemple du défi algérien : mobilisation et gestion durable des ressources, University of Constantine Algeria, 2010.

[10] Fanny Demulier, Steeve Sierra, Martin Geisler, Pierre-Yves Maurie et Hervé Suty, Le magazine de la chronique scientifique, Le dessalement de l'eau de mer, N°4 / Juillet-Août 2005/ Recherche & Développement.

[11] M^{elle} FATIMA ZAHRA TOUNSI, Etude expérimentale sur les différents procédés d'analyses de l'eau de mer de Souk Tlata, Département d'Hydraulique, UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID, master 2, 15/06/ 2015.

[12] Boumezoura amine, Meziane walid, fonctionnement de station de dessalement eau de mer Souk Tlata, département Hydraulique, université meghnia, 2018.

[13] Henri Boyé, Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée, Conseil général de l'Environnement et du Développement Durable Ministère de l'Ecologie,

de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire, France, Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée, 2008.

[14] Jean-Pierre Méricq Approche intégrée du dessalement d'eau de mer : Distillation membranaire sous vide pour la réduction des rejets salins et possibilités de couplage avec l'énergie solaire, département Génie des Procédés et de l'Environnement, L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, doctorat, 9 décembre 2009.

[15] BELBACHIR Feyza et AMEUR Amira, CONCEPTION D'UNE UNITE DE DESSALEMENT SOLAIRE, Département de Génie Mécanique, CUAT, 2018.

[16] BOUTEBILA Hichem, Etude et conception d'un distillateur solaire à usage agricole, DEPARTEMENT DE PHYSIQUE, UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE, doctorat ,08/07/2012.

[17] Alain Maurel, Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce, édition TEC, 2006

[18] Mr BENKHELFA Abdallah, Transport Facilité d'une Molécule Organique à Travers une Membrane Polymérique à Inclusion (PIMs), DÉPARTEMENT DE CHIMIE, UNIVERSITÉ M'HAMED BOUGARA DE BOUMERDES, master 2, 23 /6/2016.

[19] JACQUET VIOLLEAU, DEMINERALISATION PAR ELECTRODIALYSE EN PRESENCE D'UN COMPLEXANT APPLICATION AU LACTOSERUM, Sciences des Agroressources, L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE, doctorat 15/12/1999.

[20] Wei LU, Étude de l'échange d'ions modulé électriquement : Application du couplage échange d'ions-électrodialyse à la séparation de biomolécules, Génie des Procédés et des Produits, Institut National Polytechnique de Lorraine - École doctorale RP2E École Nationale Supérieure des Industries Chimiques, doctorat, 21/6/2010}

[21] AHMOUDA Iman et BIAA Hadjer, Traitement des rejets de dessalement de l'eau de mer cas de (les dunes) oran, Département de Génie des Mines, UNIVERSITE LARBI TEBSSI-TEBESSA, master 2, 2016.

[22] BOUKELLAL Imane HANANE Abdelghani, ETUDE DU PROCEDE DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER ET DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU DESSALEE DE LA STATION DE CAP DJINET DE LA WILAYA DE BOUMERDES, Département d'Hydraulique, Université Abderrahmane MIRA de Bejaia, master 2, 6/6/2015}

[23] B.Salah ,L'influence de la force ionique sur le dessalement des eaux faiblement saumâtre, département hydraulique, master 2

[24] M^{elle} Bouterfas Rawad Chahrazad et M^{elle} Bachiri Nabila, Etude d'impact des rejets de la station de dessalement de Chatt-El-Hilal sur l'environnement, département Génie mécanique, université Djilali Liabes de Sidi Bel Abbes, master 2,2017.

[25] Abdelkrim Khaldi et Kara Omar Abdellah, Dessalement de l'eau de Mer et Impacts Environnementaux: Cas de la Station d'El-Mactaâ, Vol. 1, Reçu : 10 Avril 2017, Accepté : 2 Novembre 2017, En ligne : 31 Décembre 2017

[26] M.Bessenasse et A.Guendouz, impact du rejet de la saumure des stations de dessalement sur l'environnement, NOTE D'INFORMATION TECHNIQUE, Algérie équipement N°5-décembre 2011.

[27] Note complémentaire sur l'utilisation du chlore (hypochlorite) dans les circuits d'eau industrielle, Projet de terminal méthanier Fos Faster à Fos-sur-mer, vol 04, octobre 2010}

[28] G.GUINIER, R.GUIMBAL, Physique.

[29] Mr KHERAZ Hamid, contribution à l'étude électrochimique des dépôts du nickel sur le cuivre, Département de Génie Mécanique, Université Abderrahmane Mira – Bejaia, master 2, 11 / 11/ 2010.

[30] DESCRIPTION DU SYSTEME DE L'INSTALLATION D'ELECTROCHLORATION, 14 mai 2009.

[31] M^{elle} Ibrahim Hanane & M^{elle} Ouazine Yasmina {Utilisation de la spectrophotométrie UV-visible pour l'étude de l'extraction solide-liquide du thym, 26/ 06 /2014}

[32] water sanitation hearlth, world health organization, 01/09/2017

[33] Communication Nationale Initiale de l'Algérie à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Mars 2001.

[34] Nesrine BADJADJ, ANALYSE DU SYSTEME DE PRODUCTION D'EAU POTABLE AINSI QUE SA GESTION ET SON EXPLOITATION AU NIVEAU DE LA WILAYA DE BEJAIA, département d'Hydraulique, université de Bejaia, 2017

[35] KAMECHE Hamza, MADANI Khaled, Gestion de la saumure de dessalement-cas de la station de Cap-Djinet-(W)-Boumerdes, DEPARTEMENT DE GENIE DE L'ENVIRONNEMENT, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES, master 2, 2017.

[36] https://www.google.com/search?q=l%E2%80%99eau+douce+dans+le+monde.&tbm=isch&tbs=ri mg:CSbsNcY9FeyXlhXXIWu1vzAQk3hONIlDdzvpXqJmzXM6Pd0TqQjmP4DzJULnaonm0PTEEnEqfKxH d08qOa2mrmayoSCVdcha7W_1MBCEWog-_1EIBAxLKhIJTeE40gh0PPMRdkXnjEYnMyQqEgm-leombNczoxHFPcLOTsvV_1SoScd3ROpCOY_1gPERsOs05YkeU0aKhIJMIQudqiebQ8RtY7SDiPPn8lqEgIM ScSq58rEdxGIKIGQ2r0CVyoSCXTyo5raauZrEQqUGeYBmaDI&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKewifvPiT-ZbjAhUjziUKHdq5CF8Q9C96BAGBEBs&biw=1366&bih=657&dpr=1#imgrc=kQcB4S5Gw_t8WM:

[37] https://www.google.com/search?q=carte+des+pays+riches+et+pauvre+en+ressources+d'eau+dans+le+monde.&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewj1s5a1_JbjAhUrx4UKHUQVBe0Q_AUIESgC&biw=1366&bih=657#imgrc=UI7pqgCg6lxQCM

[38] https://www.google.com/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=07AbXcHqMrCPlwSB-azwDA&q=+Proc%C3%A9d%C3%A9+par+d%C3%A9tentes+successives+ou+proc%C3%A9d%C3%A9+flash..&oq=+Proc%C3%A9d%C3%A9+par+d%C3%A9tentes+successives+ou+proc%C3%A9d%C3%A9+flash..&gs_l=img.3...791686.803543..804455...0.0..0.172.2691.0j19.....0....1j2..gws-wiz-img.....0.4mjil7CZ0GQ#img

[39] https://www.google.com/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=rMbXY_XM4yAjLsP1v-HqAw&q=impacts+de+saumures+sur+l%E2%80%99environnement.+&oq=impacts+de+saumures+sur+l%E2%80%99environnement.+&gs_l=img.3...1328697.1334487..1368820...0.0..3.411.1635.1j1j0j3j1.....0....1j2..gws-wiz-img.....0.lxAWdoxOS2Q#imgrc=alr2f8n6mwDP3M:c=dRIgCLvxGnX1nM:

[40] https://www.google.com/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=VbkbXenoJIm_lwSZpljYBA&q=%C3%A9lectrolyse&oq=%C3%A9lectrolyse&gs_l=img.3..0l10.1701558.1717615..1718948...3.0..3.388.5179.2j0j14j5.....0....1..gws-wiz-img.....0..0i30j0i10i30j0i5i30j0i10i24j0i24j0i67.2rNKd1XO0zQ#imgrc=uqUVJ0Q99KleHM:

[41] https://www.google.com/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=VbkbXenoJIm_lwSZpljYBA&q=%C3%A9lectrolyse&oq=%C3%A9lectrolyse&gs_l=img.3..0l10.1701558.1717615..1718948...3.0..3.388.5179.2j0j14j5.....0....1..gws-wiz-img.....0..0i30j0i10i30j0i5i30j0i10i24j0i24j0i67.2rNKd1XO0zQ#imgrc=4S37Ce9MyNd9M:

[42] https://www.google.com/search?q=figure+%C3%A9lectrolyse&tbm=isch&tbs=rimg:CbuCkukF42meljgSdgJafwxCxqE0GTwt1rH0vjo1wSwlrDEjj_1Zfy5H1ws1JHKzWHDWWC1e6bRTc7u_1OGvv8JzmSwyoSCRJ2Alp_1DELGEUf07yh48AygKhIJoTQZPBPWsfQRRdLQqAbxVkYqEgm-OjXBLCWsMRFzHT0889_1nOyoSCSOP9l_1LkfXCExPpdSX6bB4qKhIjzUkcrNYcNZYRPPH4zpXjqeMqEgkLV7ptFNzu7xHLau3FJ3vA8ioSCc4a-1wnOZLDEeml35wota6n&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKewju3J33jJfjAhUO1RoKHdf1CA5Q9C96BAgBEBs&biw=1366&bih=657&dpr=1#imgrc=zhr7_Cc5ksOBHM:

[43] https://www.google.com/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=JslbXc6uArvKgweBoa_vlBQ&q=Sch%C3%A9ma+de+principe+d%E2%80%99un+spectrophotom%C3%A8tre+%C3%A0+double+faisceau.&oq=Sch%C3%A9ma+de+principe+d%E2%80%99un+spectrophotom%C3%A8tre+%C3%A0+double+faisceau.&gs_l=img.3...251546.258478..260016...0.0..3.408.1568.1j2j0j1j2.....0....1j2..gws-wiz-img.....0.qqHC80w86dc#imgrc=susD6nPJcpqxUM:

Introduction générale

L'eau douce est une matière essentielle dans notre vie quotidienne. Sa disponibilité dans le monde diminue sous l'effet de la croissance démographique et du changement climatique

Pour satisfaire la demande en eau douce dans des régions où les réserves sont insuffisantes, plusieurs pays ont fait appel au dessalement de l'eau de mer.

Plusieurs méthodes physiques permettent l'obtention de l'eau douce à partir de l'eau de mer. Celles qui ont eu un grand succès à nos jours sont la distillation et l'osmose inverse. Ces deux techniques sont implémentées à l'échelle industrielle pour des grandes capacités de production et ont connus des développements technologiques considérables afin de les rendre plus compétitives. Les autres techniques telles que la congélation, l'électrodialyse ou bien l'humidification sont en cours de développement et ne peuvent être adaptées que pour des installations de faible capacité.

Après dessalement de l'eau de mer, les usines génèrent de la saumure contenant divers sels, métaux lourds et composés organiques.

La saumure est une solution aqueuse d'un sel, généralement de chlorure de sodium (sel de cuisine) NaCl, saturée ou de forte concentration.

La concentration en saumure varie de 50 à 75 g/l et a une densité beaucoup plus élevée que l'eau de mer. De ce fait, avec cette saumure tombe sur le sol sous-marine proche de la sortie de la conduite (effet panacher) et forme une couche très salée pouvant engendrer des impacts négatifs sur la faune et la flore marine ainsi que sur d'éventuelles activités humaines.

Afin de diminuer l'impact environnemental des saumures et leurs rejets en mer, il convient d'étudier des moyens de réduire la concentration en sels ou une valorisation des saumures. Etant donné qu'il n'existe actuellement pas de réglementations concernant les rejets de saumures, en général la saumure des usines de dessalement est rejetée directement dans la mer ou associée aux rejets de l'eau de refroidissement des centrales ou aux effluents des stations d'épuration

L'objectif de notre travail est de valoriser les saumures de la station de dessalement de Chat El Hilal (BWC). Afin de répondre à cet objectif, nous avons choisi d'utiliser la méthode de l'électro-chloration avec le courant continu.

Pour répondre à ces attentes, ce document est structuré en 5 chapitres avec :

- Un premier chapitre visera à faire le point sur l'enjeu de l'eau dans le monde et notamment en Algérie ;

- Un deuxième chapitre sera consacré à présenter les différents procédés du dessalement ;
- Un troisième chapitre Impact environnemental et valorisation des saumures de la SDEM Chat el hilal.
- Un quatrième chapitre contient la présentation de station SKT et électrolyse ;
- A la fin l'expérimentation qui contient notre étude de la valorisation des saumures.

Finalement, sur le microscope électronique à balayage, nous devons confirmer la nature du sel décanté pour dire que l'électrolyse engendre à la fois une production d'eau de javel et du sel NaCl.

On termine notre travail par une conclusion générale et perspectives.

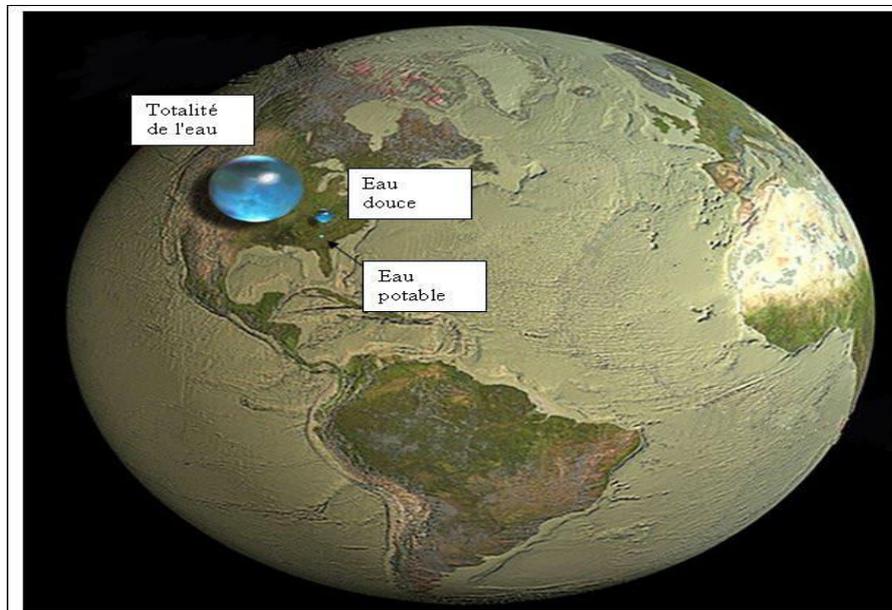


Figure 01 : L'eau potable dans le monde.

1. Introduction

L'eau est essentielle à la survie et au bien-être de l'homme et est indispensable au fonctionnement de nombreux secteurs de l'économie.

Partout dans le monde, les ressources en eau disponible s'amenuisent en raison des activités humaines et de facteurs naturels ; même si la population a pris d'avantage conscience au cours des dix dernières années de la nécessité de mieux gérer et protéger l'eau.

Les ressources naturelles sont indispensables pour assurer le fonctionnement des économies modernes et pour atteindre et maintenir un niveau de vie élevé dans tous les pays.

À l'échelle mondiale, les hommes prélèvent environ 3800 km³ d'eau douce chaque année pour leurs différents usages. La population mondiale double d'ici un siècle, la demande d'eau va également exploser et avec elle, la dégradation de la qualité des eaux.

Si l'eau douce vient à manquer, s'il s'agit de ressources communes entre pays, cela peut entraîner des guerres ouvertes ou des embargos.

On s'est battu pour des îles stratégiques ou pour l'or noir, on se battra bientôt pour "l'or bleu" si chacun ne partage pas ses ressources et ne réduit pas sa consommation.

2. L'eau dans le monde

Sur Terre, l'eau est présentée sous la forme de 3 états, qui dépendent de la température et de la pression atmosphérique.



Figure2 : Les 3 états de l'eau sur terre.^[1]

L'eau recouvre 72% de la surface du globe, cependant, l'eau douce constitue moins de 3% de toute la quantité disponible dans le monde le reste c'est des eaux salées et non-conventionnelles. ^[1]

De cette portion de 3% nous avons 2.5% enfermée dans les glaciers de l'Antarctique et de l'Arctique. L'homme doit donc se contenter des 0.5% restantes. ^[1]

La population mondiale augmente sans arrêt, mais la quantité d'eau disponible sur la planète ne peut pas augmenter.

Selon l'OMS, près de 700 millions de personnes, soit une personne sur dix, n'ont toujours pas accès à de l'eau potable en 2015. ^[2]

Pourtant l'eau est abondante sur terre : 70% de la surface du globe est couverte par une réserve de 1.4 milliards de Km³ d'eau salée. Rassemblée, cette eau représenterait un cube de plus de 1000 Km de côté. Mais seulement 0.5% de l'eau présente à la surface du globe est directement utilisable et douce. Le reste est contenu dans les océans mais aussi piégé sous forme de glace, à l'état de vapeur d'eau dans l'atmosphère ou reste simplement inaccessible. Par ailleurs, 36% de la population mondiale vit à moins de 100 Km d'une cote, 11% à moins de 10 Km de 5 Km. Dessaler l'eau de mer –ou des eaux saumâtres moins salées mais impropres à la consommation – pour obtenir de l'eau douce est alors une solution bien séduisante. [2]

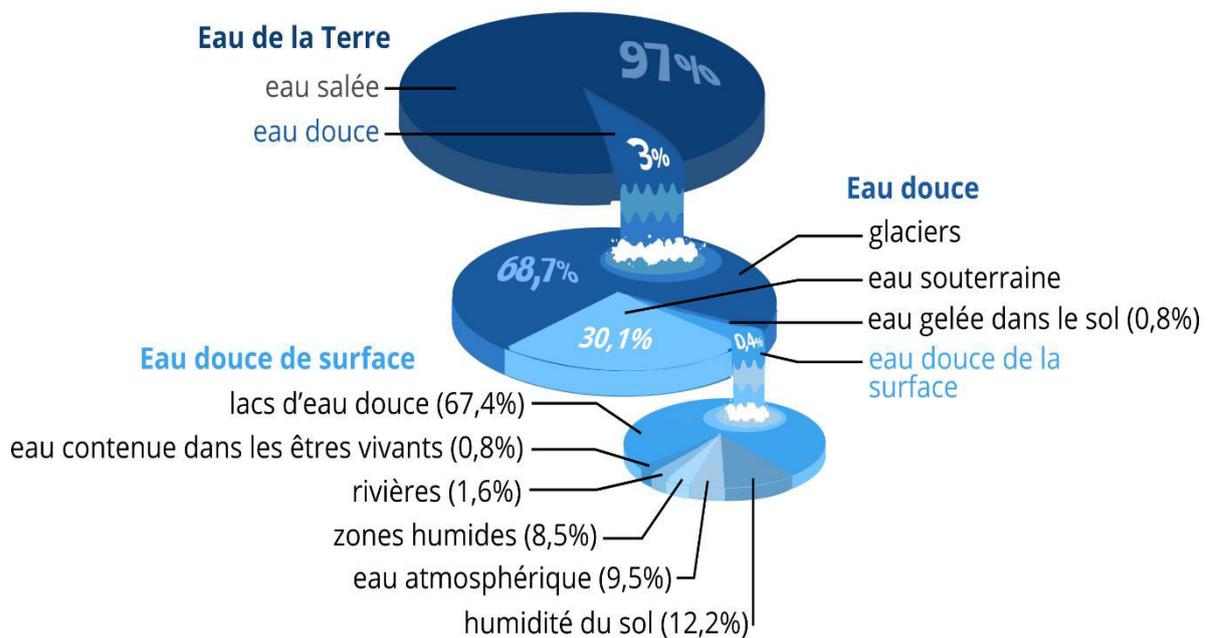


Figure 3 : disponibilité d'eau douce dans le monde. [36]

2.1 Les différentes utilisations d'eau

L'eau est indispensable à la vie et tous les hommes doivent disposer d'un approvisionnement satisfaisant en eau (suffisant, sûr et accessible).

Un meilleur accès à une eau de boisson saine peut se traduire par des bénéfices tangibles pour la santé. Tous les efforts doivent être consentis pour obtenir une eau de boisson aussi saine que possible. [32]

On peut ainsi distinguer différents usages de l'eau :

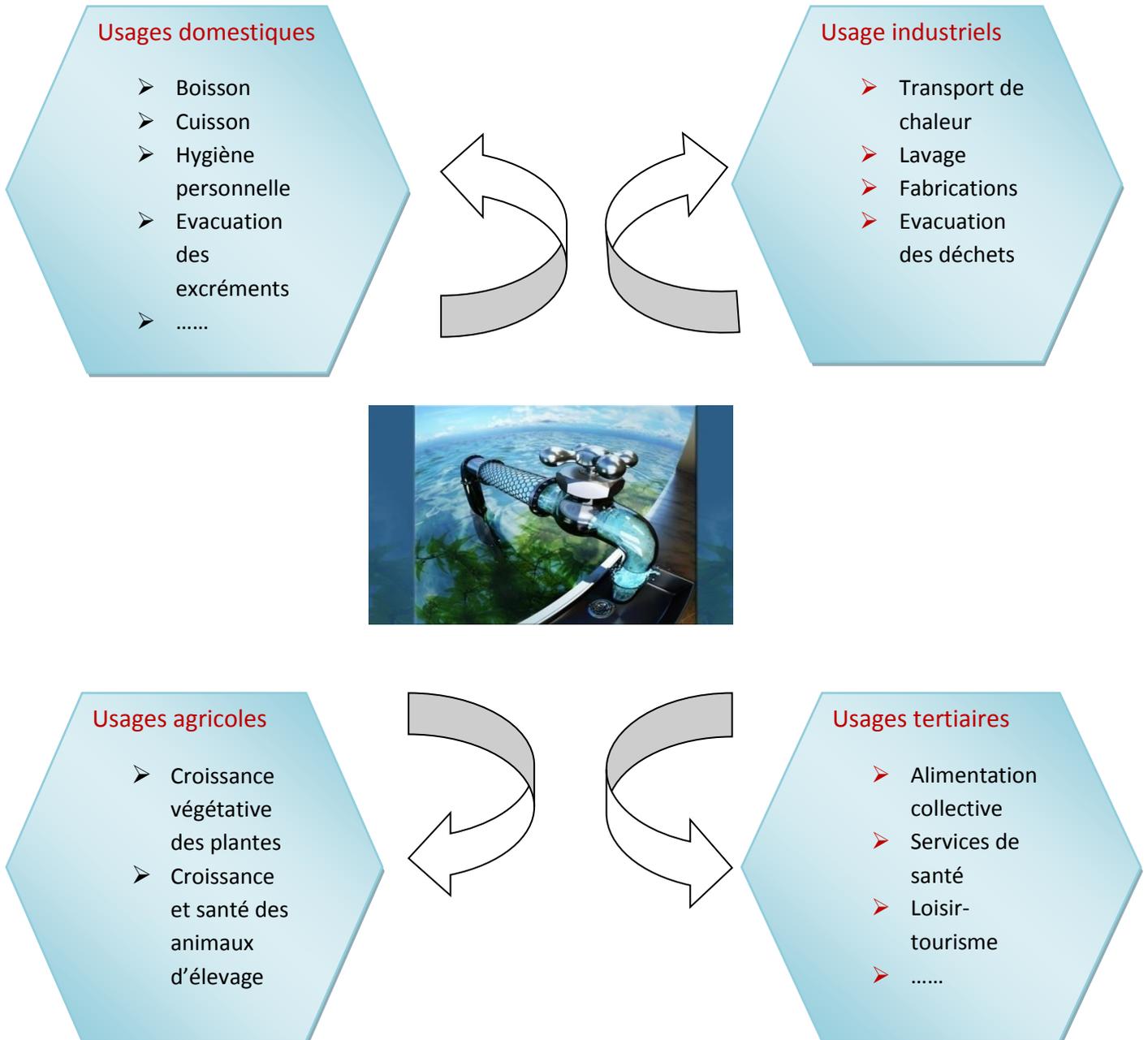


Figure 4 : différents usages d'eau.

2.2 Les pays riches et les pays pauvres en eau

Les cycles climatiques passés et actuels ont façonné la géographie des ressources en eau. Celles-ci sont inégalement réparties entre les pays. Un tiers de la population mondiale est privé d'eau potable. 1,1 milliard de personnes réparties dans 80 pays, n'ont pas accès à une eau salubre. Dans certains pays, moins de 40 % de la population a accès à l'eau potable. C'est le cas du Cambodge, du Tchad, de l'Ethiopie, de la Mauritanie, de l'Afghanistan et d'Oman. ^[3]

Neuf pays "géants" de l'eau se partagent près de 60 % des ressources naturelles renouvelables d'eau douce du monde. Leurs richesses se calculent en milliers de milliards de m³ par an ou km³ par an. Il s'agit du Brésil, de la Fédération Russe, de l'Indonésie, de la Chine, du Canada, des Etats-Unis, de la Colombie, du Pérou et de l'Inde. ^[3]

A l'autre extrémité, un certain nombre de pays disposent de ressources extrêmement faibles, voire quasi nulles dont le niveau ne s'exprime qu'en millions de m³ : Koweït, Bahreïn, Emirats Arabes Unis, Malte, Libye, Singapour, Jordanie, Chypre. ^[3]

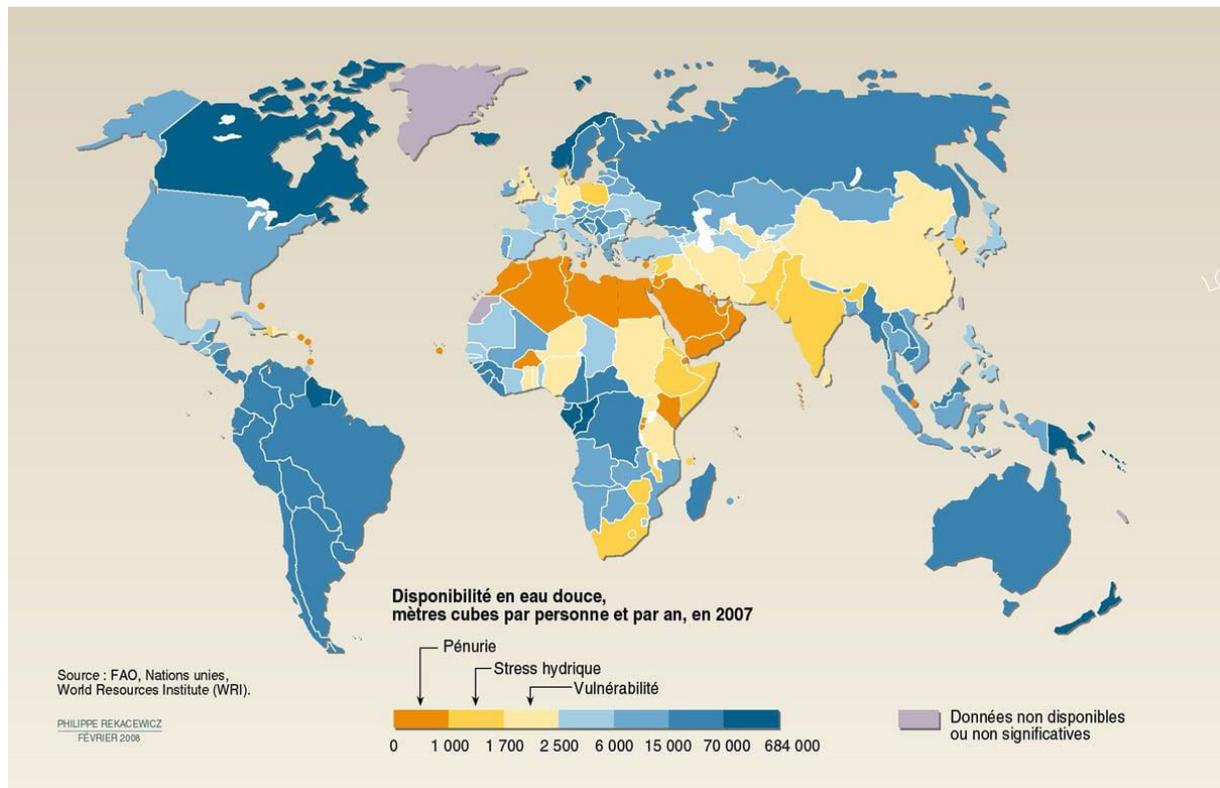


Figure 5 : carte des pays riches et pauvre en ressources d'eau dans le monde.^[37]

2.3 La pénurie d'eau

1,7 milliard de personnes dans le monde vivent dans des régions où les nappes souterraines sont surexploitées (le nombre de personne vivant en zones de stress hydrique étant bien supérieur).^[3]

L'OMS considère qu'il y a stress hydrique lorsqu'un être humain dispose de moins de 1 700 m³ d'eau par an et pénurie lorsqu'il dispose de moins de 1000 m³ par an. 1.4 milliards de personnes vivent avec moins de 1000 m³ d'eau par an.^[3]

La situation d'un pays au regard des ressources en eau peut être évaluée par l'indice d'exploitation, le volume par habitant et le degré d'indépendance. L'indice d'exploitation est la part de l'eau prélevée pour l'ensemble des besoins d'un pays, par rapport au volume annuel moyen des apports naturels. Il peut aller de 1 % au Venezuela à plus de 100 % en Arabie Saoudite et en Libye. Le volume des ressources naturelles va de moins de 500 m³/habitant/an en Malte, à plus de 80 000 m³/habitant/an (Norvège, Gabon, Canada...).^[3]

La France, comme l'Allemagne, la Turquie ou le Mexique, est considérée comme bien pourvue puisqu'elle se situe dans la fourchette de 2000 à 5000 m³/habitant/an.^[3]

L'Egypte, les Pays-Bas ou l'Irak, par exemple, dépendent fortement des ressources en eau d'origine externe, respectivement 99 %, 89 % et 65 %.^[3]

3. L'eau en Algérie

L'Algérie est un pays semi- aride, voir même aride (200 mm à 400 mm de pluie par an) et ses ressources en eau sont faibles, irrégulières, et localisées dans la bande côtière, l'apport total des précipitations serait de l'ordre 100 milliards de mètres cubes d'eau par an dont 12,4 milliards de mètres cubes sont mobilisables en tenant compte des sites favorables techniquement (hydrologie, topographie, géologie).^[1]

3.1 Elément de géographie et d'hydrographie de l'Algérie

Pour bien saisir la question de l'eau en Algérie, il convient de rappeler de quelques éléments de sa géographie et de son hydrographie.^[3]

L'Algérie est l'un des plus grands pays d'Afrique avec une superficie de 2 381 741 kilomètres carrés sur les 30 millions de km² du continent africain, soit près du 1/12 de la surface totale de l'Afrique. C'est le plus vaste des Etats africains après le Soudan.^[33]

Près de 200 000 000 hectares sont occupés par le Sahara qui couvre les 5/6 de la superficie du pays. Le pays s'étend entre les latitudes 18° et 38° Nord et entre les longitudes 9°Ouest et 12°Est.

On peut inscrire le territoire dans un hexagone irrégulier dont les principales dimensions seraient : [33]

- 1900 km du Nord au Sud,
- 1800 km de l'Ouest à l'Est,
- 2100 km du Nord-est au Sud Ouest,
- 1200 km de côtes sur la Méditerranée.[33]

En Algérie, autant la large disponibilité de l'énergie est un facteur favorable au développement durable, autant le déficit structurel en eau en constitue une contrainte majeure dont l'ampleur du défi a été longtemps sous-estimée, en particulier au lendemain de l'indépendance. [3]

Le pays est sorti, il y a quelques années, d'un cycle de sécheresse qui a duré près d'un quart de siècle avec toutes les conséquences sur l'assèchement de son régime d'écoulement des eaux et tous les effets nocifs sur les nappes aquifères. A titre d'exemples, il avait plu les trois dernières années de ce cycle moins de 50% que la moyenne des 50 dernières années.

Le déficit en eau potable pour alimenter Alger avait été tel qu'il a eu comme conséquence l'arrêt de l'irrigation sur la plaine de la Mitidja à partir des barrages (Hamiz, Safsaf). La ville d'Oran a vu sa population consommer de l'eau saumâtre pendant plusieurs années. L'Algérie, avec 500m³ d'eau par habitants en 2003, se situe parmi les pays les moins dotés de la planète, en dessous du seuil de rareté fixé par la banque mondiale à 1000m³ par habitant et par an. Depuis l'indépendance, la situation n'a fait que se dégrader puisqu'elle passe de 1500m³ en 1962 à 720m³ en 1990, 680m³ en 1995 et 630m³ en 1998. Les projections pour 2020, en scénario tendanciel, affichent 430m³ par an et par habitant.

Cette situation caractérisée par des ressources insuffisantes, aggravée par des longs cycles de sécheresse dont le dernier s'est achevé en automne 2002, implique des conflits importants entre les différents utilisateurs qui nécessitent des arbitrages délicats et difficiles pour les pouvoirs publics. La faible pluviométrie de l'hiver 2007-2008 est là pour le rappeler.

Les marges de manœuvre vont d'autant plus se rétrécir que les besoins en alimentation en eau potable (AEP) seront multipliés par 2.5 les 25 prochaines années.

Quelques éléments significatifs traduisent cette situation de crise permanente :

- Tensions fréquentes dans les grandes villes du fait de la disponibilité insuffisante de l'eau ;
- Diminution importante de la superficie irriguée qui passe de 13ha en 1962 à 5ha pour 1 000 habitants en 2001 ;
- Disparition de certains vergers traditionnels du fait des prélèvements opérés du profit de l'AEP sur les eaux d'irrigation ;
- Une population estimée à près de 8 millions d'habitants n'est pas encore raccordée au réseau de distribution d'eau potable.

L'érosion qui affecte les plaines septentrionales diminue non seulement le potentiel agricole mais affecte également les capacités de mobilisation des ressources en eau. Ajoutées à cela, les diverses pollutions des eaux et les pertes dans les réseaux de distribution d'eau potable et d'irrigation aggravent la situation en matière de disponibilité d'eau.

A titre d'illustration les pertes totales dans les réseaux de distribution d'eau potable dans les villes sont estimées à 50% des volumes prélevés et à 40% pour les réseaux d'irrigation. ^[3]

3.2. La gestion des ressources en eau

La gestion des ressources en eau est l'un des grands enjeux de nos sociétés contemporaines. Les ressources en eau sont renouvelables mais limitées, or les besoins humains ne cessent de croître et les milieux sont de plus en plus transformés par l'homme ce qui présente de nombreuses incidences sur l'eau, en quantité comme en qualité.

La gestion des ressources en eau aspire de mieux prendre en compte les différentes dimensions des ressources et leurs liens avec les territoires en améliorant l'articulation des politiques qui y sont conduites.

La gestion de l'eau s'articule autour d'un certain nombre de points portant sur :

- La fourniture d'eau potable aussi bien dans les villes que les campagnes,
- L'assainissement et le traitement des eaux usées.

L'approvisionnement des populations en eau potable et le traitement de leurs eaux usées sont les conditions pour prévenir les maladies d'origine hydrique, particulièrement, dans les pays dits " émergents. "

- la prévention des pollutions chroniques ou accidentelles d'origine domestique, agricole ou industrielle seul moyen de protéger la ressource d'eau alimentaire d'abord, mais aussi les hydro systèmes aériens ou souterrains et les équilibres floristique ou faunistiques qu'ils abritent.
- L'approvisionnement en eau des industries et de l'agriculture qui fournissent les biens de consommation, les énergies et les aliments nécessaires aux populations.
- La lutte contre les risques naturels liés à l'eau : inondations, coulées de boue, érosion, aridité, sécheresse, feux de forêt, etc.
- Le maintien des activités " aquatiques " qui vont du transport fluvial à la pêche professionnelle en passant par une grande variété d'activités de loisir : baignade, canotage, pêche de loisir, etc.^[34]

Tableau 1 : Variation de la lame d'eau. ^[3]

Pluviomètre mm/an	Région Ouest	Région Centre	Région Est
Littoral	400	700	900
Atlas tellien	600	700-1000	800-1400
Haute plaines	250	250	400
Atlas saharien	150	200	300-400
Sahara	20-150	20-150	20-150

Le tableau 2 nous renseigne sur les potentialités du pays en eau de surface

Tableau 2 : potentielle en eau de surface^[3]

Zone hydrographie	Potentialité (million m ³ /an) année 1986	Potentialité (million m ³ /an) année 1998	Déficit en %
Bassin méditerranéens	11 150	8820	21
Haute plaine	985	718	27
Sahara	320	200	38
Total	12 410	9738	22

Tableau 3 : les ressources globales en eaux du pays.^[3]

	Année moyenne (milliard m ³ /an)	Année sèche (milliard m ³ /an)
Eaux superficielle	12.4	9.5
Eaux souterraine	8	8
Total	20.4	17.5

3.3 Classification des ressources en eau

Elle est présente dans les sols et constitue les êtres vivants. Sous toutes ses formes de l'eau, on parle du cycle de l'eau. Les fluides jouent un rôle fondamental dans la plupart des processus physicochimiques qui affectent la croûte terrestre ; avec les rivières, les aquifères souterrains occupent une fonction centrale dans ce système. ^[4]

L'homme à recours généralement, pour satisfaire ses propres besoins (production d'eau pour la consommation humaine) et permettre l'usage de l'eau dans ses diverses activités industrielles et agricoles, à deux types de ressources naturelles :



Les ressources conventionnelles



Les ressources non conventionnelles. ^[4]

3.3.1 Les ressources conventionnelles

Afin de développer la capacité en matière de ressources conventionnelles, c'est-à-dire eaux superficielles et eaux souterraine.

➤ Les ressources en eaux superficielles

Elles se constituent par toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents.

Elles ont pour origine soit les eaux de ruissellement, soit les nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseaux puis de rivière. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. [4]

Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (étangs et lacs) ou artificielles (retenues, barrages) caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère (La vapeur d'eau de l'atmosphère) comme immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour souvent élevé. Il s'agit d'une ressource facilement accessible, mais malheureusement fragile et vulnérable, la pollution la rendant souvent impropre à l'utilisation en l'absence d'un traitement préalable. La composition chimique des eaux de surface. [4]

Le bassin versant continue de faire l'unanimité d'être l'entité fondamentale d'analyse et d'une gestion efficace des ressources en eau. A ce niveau, le géographe Alexandre BRUN (2006) définit le bassin versant comme : « un ensemble de terre irriguée par un même réseau hydraulique ». [4]

Pour le Partenariat Mondiale de l'Eau (GWP), et ce, dans son manuel de gestion intégrée des ressources en eau, le bassin versant : « correspond à la zone réceptrice des précipitations qui alimentent un système de cours d'eau et de fleuves s'écoulant vers la même embouchure, bassin versant est considéré comme l'unité hydrologique pratique pour la gestion des ressources en eau ». [4]

De nombreux ouvrages ont été construits. Alors qu'en 1962, il n'existait que 13 barrages permettant de stocker 450 millions de m³ d'eau destinée essentiellement à l'irrigation des plaines agricoles de l'Ouest du pays, on compte actuellement 75 barrages pour une capacité globale de 8,11 milliards de m³ d'eau. A la fin des réalisations du programme en cours, ils devraient être 84 barrages, faisant passer la capacité de mobilisation à 8,4 milliards de m³. [1]

✓ Plus de 160 retenues collinaires sont en cours d'étude ou de réalisation et viendra s'ajouter aux 400 autres retenues collinaires en exploitation pour un potentiel de 44 millions de mètres cubes qui contribuent à l'irrigation de 850.000 hectares dans le cadre de la petite et moyenne hydraulique. [5]

Les eaux de surface se caractérisent par :

- ✚ les variations saisonnières, et à degré moindre, journalières des paramètres physiques (température, turbidité et coloration). Les concentrations en matières solides finement dispersées ou à l'état colloïdal peuvent être importantes tout en étant aléatoires suite à des pluies soudaines, des orages et des pollutions

- ✚ accidentelles.

- ✚ la fragilité de cette ressource très vulnérable à la pollution d'origine urbaine, industrielle et agricole. ^[4]

➤ **Ressources souterraines**

- Nord : ces ressources sont évaluées à 1.8 milliards de m³ pratiquement mobilisées et certaines nappes sont exploitées à 90% ou en surexploitation critique, 12000 forages, 9000 sources et 100000 puits.

- Sud : exploitation actuelle 1,7 milliards m³/an et qui peut être portée à 5 milliards m³/an avec la possibilité de transfert vers le nord. ^[6]

3.3.2 Les eaux non-conventionnelles

Concernant les ressources non conventionnelles : Pour pallier aux déficits régionaux en eaux conventionnelles et équilibrer le bilan hydrique et afin de réaliser une assurance future en matière de mobilisation des ressources en eau, ces ressources non conventionnelles regroupent :

- ✚ Dessalement de l'eau de mer ;

- ✚ Déminéralisation des eaux saumâtres ;

- ✚ Réutilisation des eaux usées urbaines épurées.

➤ **Les eaux usées**

D'après RODIER et al (2005), on peut classer comme eaux usées, les eaux d'origine urbaine constituées par les eaux ménagères (lavage corporel et du linge, lavage des locaux, eaux de cuisine) et les eaux vannes chargées de fèces et d'urine. ^[7]

Selon GROSCLAUDE (1999), une eau usée est une eau rejetée après usage industriel, domestique ou agricole. ^[7]

Tableau 4 : Evolution des volumes d'eaux usées rejeté en Algérie. ^[6]

Type d'agglomération	Volume d'eaux usées rejeté (Hm ³)			
	1995	Taux (%)	2020	Taux (%)
Côtières	169	31	282	25
Amont barrage	48	09	122	11
Proximité des périmètres	62	11	143	12
Autres	149	27	352	30
>20 000<50 000 hab	122	22	251	22
Total	550	100	1 150	100

➤ **Dessalement de l'eau de mer**

Les besoins en eau potable en hausse, ainsi qu'à ceux pour l'irrigation et l'industrie ont été forts et restent continus. Une période de sécheresse assez longue menant à une surexploitation des réserves hydriques. Le recours au dessalement de l'eau de mer en Algérie constitue une solution urgente pour satisfaire ces besoins en eau et alimenter ses villes côtières surpeuplées. ^[1]

3.4 La rareté de ressource

L'Algérie est confrontée à la rareté de l'eau, facteur limitant du développement et source de tensions sociales. La rareté est mesurée en termes de stress hydrique et d'irrégularité de la ressource, deux facteurs susceptibles de s'accroître avec le changement climatique. Dans l'hypothèse d'une décroissance de 15 % de la pluviométrie, la ressource en eau de surface des bassins du Nord algérien diminuerait de 40% (Plan National de l'Eau). Aussi, devant la montée des besoins (AEP urbaines, industries, périmètres irrigués), les scénarios du Plan Bleu pour l'environnement et le développement de la Méditerranée, prévoient une pression croissante sur la ressource, mettant le pays en situation de crise aiguë en 2025 (500 m³ par habitant et par an). ^[9]

3.5 Une législation claire, moderne, intégrant le concept de gestion durable des ressources

La gestion du secteur de l'eau en Algérie s'organise principalement dans le cadre de la Loi relative à l'eau (loi 0512 du 4 août 2005). Instrument juridique à double finalité, normative et de politique sectorielle, cette loi fondamentale est issue du Code de l'eau de 1983. Celui-ci a subi des modifications successives pour prendre en compte les évolutions économiques du pays et pour adopter les principes et règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale. La loi sur l'eau de 2005 consacre le droit d'accès à l'eau et à l'assainissement pour tous et fixe les objectifs suivants :

- l'utilisation rationnelle et planifiée des eaux pour la satisfaction des besoins des populations et de l'économie nationale,
- la protection des eaux contre la pollution, le gaspillage et la surexploitation,
- la prévention contre les effets nuisibles de l'eau. ^[8]

4. Dessalement

4.1 Historique de dessalement

Au XII^e siècle, Adélard de Bath décrit deux expériences dans les Questions naturels : «au soleil, après l'évaporation sur un rocher, l'eau de mer se transforme en sel ; lorsque le soleil fait défaut, on chauffe de l'eau de mer et sous l'effet de la cuisson on la voit également se transformer en sel. Cette métamorphose explique que la mer soit plus salée l'été que l'hiver, que les mers méridionales le soient davantage que les mers septentrionales ».

Depuis les temps les plus anciens, les marins ont dessalé l'eau de mer à partir de simples bouilleurs sur leurs bateaux, mais l'utilisation à des fins industrielles est récente

Dans les années 60, les procédés thermiques sont mis au point et utilisés pour dessaler l'eau de mer. Par ailleurs, des recherches sont développées sur le procédé de dessalement par osmose inverse.^[10]

4.2 Définition de dessalement

Le dessalement de l'eau (également appelé dessalage ou désalinisation) est un processus qui permet 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, notamment). 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. ^[11]

4.3 Principe

L'opération de désalinisation des eaux salées ou saumâtres consiste à enlever entièrement ou partiellement les sels dissous dans ces eaux.

Cette opération peut se réaliser par un changement de phase, c'est-à-dire chauffer l'eau liquide jusqu'au point d'ébullition, la vapeur ainsi formée est condensée par la suite sur une surface froide.les procédés basés sur ce principe sont appelés procédés de distillation. Toutes ces méthodes nécessitent de l'énergie sous forme thermique.

Il existe également des procédés chimiques comme la méthode d'échange ionique, et des méthodes à membrane comme l'osmose inverse et l'électrodialyse pour lesquelles l'énergie nécessaire est principalement sous forme électrique. ^[12]

4.4 Situation du dessalement dans le monde et place de la méditerranée

Le dessalement de l'eau est en très forte croissance dans le monde. La capacité installée augmente chaque année en moyenne de plus de 10%. Cela s'explique en partie par l'abaissement significatif des coûts qui le rend de plus en plus compétitif.

Sur 70 villes de plus d'un million d'habitants sans accès direct à des ressources supplémentaires en eau douce, 42 sont situées sur la côte. De plus, 39% de la population mondiale, soit 2,4 milliards d'habitants, vit à moins de 100 km de la mer. Ces deux facteurs

font du dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres une vraie ressource alternative. Il peut constituer une solution contre la surexploitation des aquifères dans les zones côtières, une réponse à certains risques stratégiques, comme des épisodes de forte sécheresse ou des ruptures de l'alimentation en eau. Il existe même des études en cours dans des zones non arides visant à sécuriser l'alimentation de grandes villes comme Londres ou New York, grâce à des installations de dessalement auxquelles il serait fait appel pour faire face aux épisodes de sécheresse. Aujourd'hui, plus de 15 000 unités de dessalement dans 120 pays produisent environ 40 millions de m³/j, dont les trois quarts issus de l'eau de mer et un quart des eaux saumâtres.

Sur ces 40 millions, 75% sont destinés à la consommation humaine, 25% à un usage industriel ou agricole. Rappelons que la capacité mondiale de production en eau potable est de l'ordre de 500 millions de m³/j². Alors qu'en 2004, les experts estimaient que la capacité de dessalement d'eau de mer mondiale augmenterait de 100% d'ici à 2015, ces prévisions semblent aujourd'hui sous-estimées. La Chine et l'Inde pour lesquelles on prévoyait une activité de dessalement d'environ 650 000 m³/j d'ici 2015 ont déjà dépassé ces prévisions. La Chine a récemment annoncé 1 million de m³/j d'eau de mer traitée d'ici 2010 et jusqu'à 3 millions de m³/j en 2020. Au rythme actuel d'un doublement de la production tous les 10 ans, les spécialistes estiment que cette production grimpera à 50 ou 60 millions de m³/j avant 2015, et pourrait à nouveau doubler d'ici à 2025. 60% des besoins en eau douce des pays du Golfe Persique sont satisfaits par le dessalement d'eau de mer. L'Arabie Saoudite génère à elle seule 20% de la production mondiale. Mais, le dessalement ne concerne plus seulement les riches et désertiques États du Golfe, où fonctionnent les plus importantes installations. En Australie, un tiers de l'eau douce consommée par la ville de Perth provient de cette technique.^[13]

En Méditerranée, la production artificielle d'eau douce par dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre souterraine a débuté d'abord dans des situations d'isolement insulaire (Malte, Baléares, Dalmatie, Chypre, Cyclades...), littorales (Libye) et désertiques (Algérie), et essaime aujourd'hui très rapidement tout autour de la Méditerranée. L'Algérie et l'Espagne ont clairement opté pour cette option pour résoudre leur problème de pénurie. L'Espagne est au 4ème rang mondial. Dans la plupart des pays méditerranéens, on anticipe que la quantité d'eau dessalée croîtra fortement. En effet, les ressources en eau renouvelable sont limitées, mais il y a abondance d'eau salée, et d'énergie à court terme dans les pays pétroliers riches. A ce jour, la Méditerranée représente environ un quart du dessalement mondial. Vers 2030, la région pourrait approcher le chiffre du dessalement mondial actuel (soit environ de 30 à 40 millions de m³/j).^[13]

4.4.1 Les grandes usines de dessalement dans le monde

➤ **L'usine de Barcelone** : la plus grande usine dans l'Europe est installée près de Barcelone, en Espagne. Elle a été construite après la sécheresse qui a frappé la Catalogne en 2008. Les autorités catalanes confient au groupe la construction et l'exploitation de la plus grande usine d'Europe. Et gagnent une capacité de 200 000 m³/j de production d'eau potable.

➤ **L'usine de l'Arabie Saoudite** : l'Arabie Saoudite possède la plus grande usine de dessalement d'eau de mer. Elle produit chaque jour 800 000 m³/j d'eau douce, ce qui suffirait à la consommation quotidienne des habitants. Mais elle a coûté plus de 7 milliards de dollars.

➤ **L'usine de Playas de Rosarito au Mexique** : la plus grande usine de dessalement en Amérique. Sa capacité devrait atteindre à l'horizon 2020, 190 000 M³/J, puis à l'horizon de 2024, 380 000 M³/j.

➤ **L'usine de Mactaa en Algérie** : la méga station de dessalement d'eau de mer d'EL Mactaa la plus grande en Afrique. La station produit une quantité de 430 000 M³/J d'eau potable, et à partir de janvier 2017 sa production atteindra les 500 000 M³/j, Ceci pour fournir Oran et des wilayas limitrophes.

➤ **L'usine de Melbourne -Australie-** : l'usine de dessalement de l'Etat de Victoria, située près de **Wonthaggi**, offre à Melbourne et plusieurs autres communautés de la région une source d'eau potable totalement indépendante du niveau de précipitations et des unités de stockage de l'eau à l'aire libre. Sa capacité de production s'élèvera à 450 000 M³/j d'eau potable par jour. ^[13]

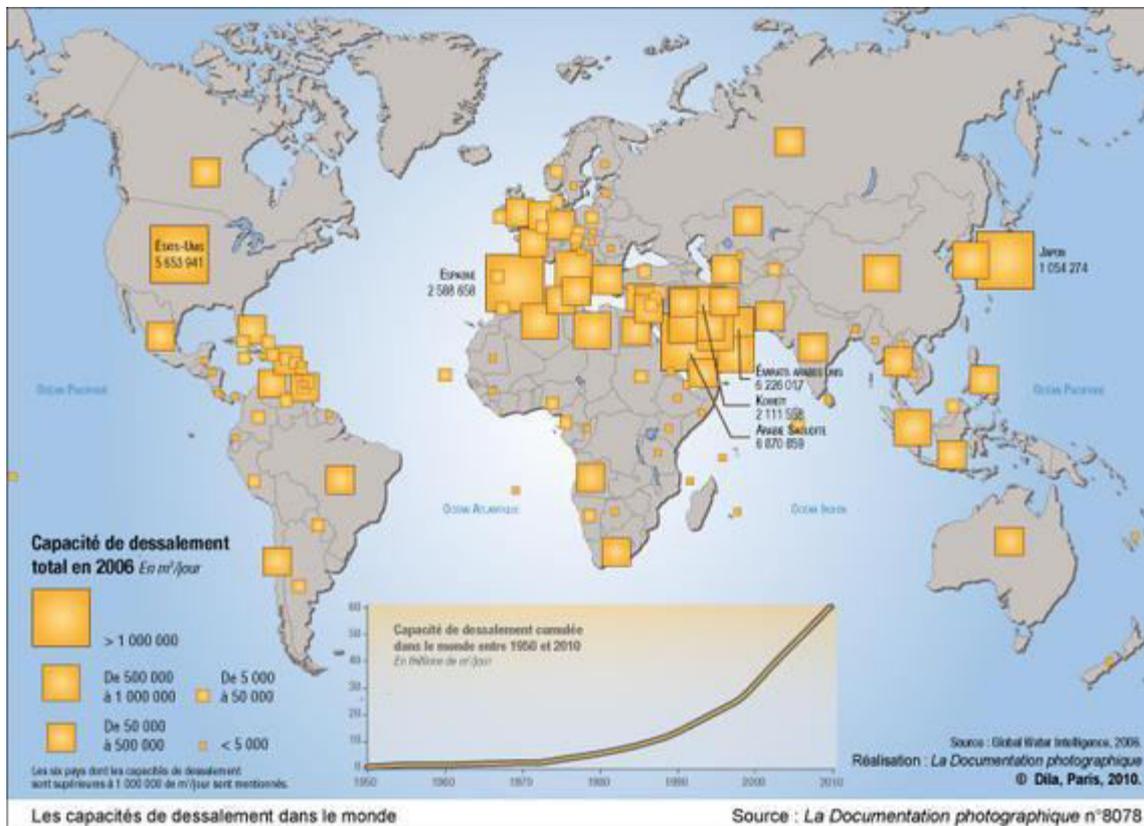


Figure 6 : carte de monde de la différente capacité de dessalement. ^[13]

4.5 Algérie : dessalement urbain massif

A Alger et pour l'ouest du pays, la sécheresse oblige à ramener la plage horaire de distribution dont bénéficie 70% de la population, de 16h/par jour à 8h/jour. Un grand programme de forages est lancé à l'Ouest du pays et concerne Tiaret, Chlef, Mascara, Aïn Temouchent, Sidi Bel Abbès. Le grand projet d'acheminement de l'eau de Aïn-Salah vers Tamanrasset sur plus de 70 km, assurera à l'horizon 2010 une alimentation en eau potable de l'ordre de 100 000 m³/j participant au plan du développement du Grand-Sud. En outre, pour pallier le manque d'eau potable dans le pays et ne plus dépendre des aléas climatiques, l'Algérie a décidé de miser sur des usines de dessalement. 43 unités seront opérationnelles d'ici 2019, pour approvisionner les grands centres urbains, en réservant les eaux traitées et les eaux de barrage à l'agriculture et l'usage industriel (1 000 000 m³/j installés, 2 000 000 m³/j programmés). Le dessalement est ainsi appelé à répondre aux besoins de plus d'un cinquième de la population. « L'eau dessalée, du fait de son coût relativement élevé, ne peut être utilisée que pour la consommation domestique. L'idée est d'approvisionner les grands centres urbains, comme Alger, Oran ou Skikda, en eau dessalée et de réserver les eaux traitées et les eaux de barrage à l'irrigation, l'agriculture et l'usage industriel » (le Ministre de l'Eau, Journal El Watan, Les agriculteurs sont appelés à utiliser le goutte-à-goutte pour l'irrigation, plusieurs unités d'épuration des eaux usées sont en cours de réalisation pour couvrir les besoins de l'agriculture. Les citoyens sont sensibilisés à rationaliser la consommation de l'eau et à mettre un terme aux déperditions d'eau qui avoisinent à Alger le taux de 40%. Cependant, le gouvernement a annoncé que malgré le développement des usines de dessalement, le prix de l'eau restera inchangé pour les consommateurs algériens (grâce aux subventions). Dix usines sont déjà en service dans le pays, et 33 nouvelles sont prévues d'ici 2019, les 12 principales étant réalisées suivant la formule BOO (Build, Own, Operate), où conception, réalisation et exploitation de l'usine sont à la charge de l'investisseur privé étranger pendant le temps de la concession accordée par l'Etat. C'est le cas d'El Hamma, 200 000 m³/j soit le tiers de l'eau potable d'Alger, inaugurée le 24 février 2008 par le Président Bouteflika. Ce projet de 245 millions de dollars a pour partenaires l'AEC et l'ADE (30%) et le groupe américain IONICS (70%). A la fin de 2009, 13 nouvelles unités de dessalement fourniront 2,3 millions m³/j à Tipasa, Skikda, Mostaganem, Beni-Saf (Tlemcen), Arzew. L'usine d'Oran (à Magtaa, commune de Mers El Hadjadj) produira, en 2011, 500 000 m³/j d'eau potable [Source El Watan avril 2008]. C'est le groupe Hyflux de Singapour qui a remporté ce projet, en BOO après appel d'offres, pour un prix de cession du m³ d'eau de 0,5577 dollar/m³ devant cinq compagnies et consortiums concurrents, pour un coût total d'investissement d'environ 468 millions de dollars. Hyflux a devancé deux consortiums espagnols Befesa-Sadyt Somague (0,62 dollar/m³ et 587 millions de dollars), Inima-Aqualia (0,64 dollar/m³ et 498 millions de dollars), un consortium anglo-algéro-japonais

Biwater-Toray-Arcofina (0,797 dollar/m³ et 619 millions de dollars), un autre groupe espagnol Acciona-Agua (0,798 dollar/m³ et 709 millions de dollars) ainsi qu'un groupement américanoégyptien GE Water-Orascom (0,85 dollar/m³ et 870 millions de dollars). Le délai de

réalisation est de 36 mois. Hyflux a déjà remporté en consortium avec le groupe Malakoff de Malaisie le projet de dessalement de l'eau de mer de Souk Tlata, situé à Tlemcen, avec une capacité de 200 000 m³/j. D'autres unités seront localisées à Mostaganem, Zéralda (Alger-Ouest), à Cap Djinet à l'Est d'Alger), à Sidna Ouchaa, Honaïne et Aïn Tourk dans la wilaya d'Oran, Jijel et El Kala. Et 20 autres petites stations seront réalisées, d'ici 2016, sur le budget de l'Etat et seront confiées à la charge de l'ADE (Algérienne des Eaux). Par ailleurs, un accord de coopération avec la France pour le dessalement nucléaire a été signé en décembre 2007. ^[13]

5. Conclusion

L'eau est un bien insubstituable essentiel à la vie, à l'équilibre de l'écosystème et à l'activité économique. Mais aussi, c'est une ressource complexe, fragile qui doit être gérée de manière à assurer son économie et sa protection.

Si tous les êtres humains n'ont pas accès à l'eau potable et que tant de personnes en souffrent et en meurent, c'est parce que tous les pays n'ont pas les mêmes infrastructures, pas le même niveau de développement.

L'eau ne suffit pas, il faut évidemment qu'elle soit potable et comme nous l'avons expliqué, l'eau est aussi la cause de graves maladies.

Sans eau, la vie n'est pas possible, c'est pour cela que c'est un besoin indispensable à l'homme.

Aujourd'hui, le dessalement constitue de plus en plus une solution compétitive pour pallier à la rareté des ressources en eau dans les régions littorales.

1. Introduction

L'idée de dessaler l'eau de mer ou les eaux saumâtres remonte à des centaines et des milliers d'années.

De nos jours, la recherche dans le dessalement de l'eau est capitale du fait du manque d'eau croissant dans les pays où les ressources en eau sont trop faibles par rapport à la population et à l'agriculture.

Il a pour but l'obtention d'eau de salinité voisine de celle des eaux douces naturelles à partir d'eau de mer ou d'eau saumâtre.

Dans cette partie, nous nous attacherons à présenter les différentes techniques de dessalement existantes.

2. les caractéristiques des eaux de mer et des eaux saumâtres

La distinction entre les types d'eau repose sur la concentration globales en sels, d'après l'OMS une eau est considérée comme potable si sa salinité est comprise entre 100 et 1000 mg/l, soit 0,1 et 1g/l. la salinité de l'eau produite pour la consommation se situe en général autour de 400 mg/l. ^[3]

2.1 Les eaux marines

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

2.2 Les eaux saumâtres

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le CaCO₃, le CaSO₄, le MgCO₃ et le Na Cl. ^[3]

3. Composition de l'eau de mer

3.1 Composition minérale de l'eau de mer

Plus de 99,99 % des espèces dissoutes dans l'eau de mer sont des sels. L'eau de mer est composée d'une soixantaine d'éléments dont: chlore, sodium, magnésium, calcium, potassium, brome, strontium, bore et fluor ainsi que des sulfates.

La concentration totale en sels dissous est appelée la salinité. La salinité totale des mers ouvertes sur les masses océaniques (Atlantique, Manche, Mer du Nord, Pacifique) est de l'ordre de 35 g/L. Elle peut néanmoins subir des variations plus ou moins importantes suivant la position géographique, la profondeur et la température. Pour les mers fermées ou peu ouvertes, les valeurs de salinité peuvent être très différentes : 7 g/L en Mer Baltique, 13 g/L dans la Mer Caspienne, 20 g/L en Mer Noire, 36 à 39 g/L en Mer Méditerranée, 40 g/L dans la Mer Rouge, 40 à 70 g/L dans le Golfe arabe et jusqu'à 270 g/L dans la Mer Morte.

La composition relative d'une eau de mer (répartition des différents sels) reste quasi-constante dans le cas des mers ouvertes ou peu ouvertes (Tableau I-2). Dans le cas des mers fermées, il peut néanmoins y avoir de fortes variations dans la composition en fonction de l'évaporation et des apports d'eaux de surface. Les ions chlorure et sodium représentent environ 85 % de la masse en sels présents dans l'eau de mer mais il faut également noter la présence de bicarbonates, de calcium et de sulfates qui sont des sources potentielles de colmatage lors d'un procédé de dessalement.

L'OMS a défini des normes de potabilité pour l'eau concernant le taux en sels : la salinité globale doit être inférieure ou égale à 1 000 mg/L et la teneur en chlorure doit être inférieure ou égale à 250 mg/L. En prenant comme référence l'eau de mer standard, cela équivaut à une élimination de 97,1 % pour les sels totaux et de 98,7% pour les chlorures.

Tableau 5 : Composition de l'eau de mer. ^[14]

		Eau de mer standard		Mer méditerranée		Golfe arabique	
		Mg/l	%	Mg/l	%	Mg/l	%
Salinité totale		35 000	-	39 000	-	45 000	-
CATIONS	Na ⁺	10 760	30.7	11 973	30.7	13 830	30.7
	Mg ²⁺	1 294	3.7	1 443	3.7	1 660	3.7
	Ca ²⁺	412	1.2	468	1.2	530	1.2
	K ⁺	387	1.1	429	1.1	497	1.1
ANIONS	Cl ⁻	19 353	55.3	21 567	55.3	24 900	55.3
	SO ₄ ²⁻	2 712	7.7	3 003	7.7	3 500	7.7
	HCO ₃ ⁻	142	0.4	156	0.4	182	0.4
	Br ⁻	67	0.2	78	0.2	86	0.2

Le pH de l'eau de mer est légèrement alcalin (valeur comprise entre 8,0 et 8,4). L'ion bicarbonate est en équilibre de dissociation avec l'ion carbonate. Le bore est également présent dans l'eau de mer en très faible quantité (4,5 ppm) principalement sous forme d'acide borique B(OH)₃ qui n'est que partiellement dissocié en ion borate dans la gamme de pH des eaux de mer (pKa = 9,14).

Certains minéraux sont également présents comme le phosphore, les composés azotés inorganiques et le silicium. Il s'agit de nutriments mis en jeu lors de la production de matière organique. Le phosphore est présent à des concentrations de l'ordre du µmol/L principalement sous forme HPO₄²⁻ (environ 90 %) et PO₄³⁻ (10 %). L'azote inorganique est essentiellement présent sous forme moléculaire. Une partie est également présente sous forme de nitrate NO₃⁻ (quelque dizaines de µmol/L) dans les zones oxygénées, de nitrite NO₂⁻ (inférieur à 0,1 µmol/L mais jusqu'à 2 µmol/L dans des zones de transition entre des couches d'eau oxygénées et anoxiques) ou d'ammonium (inférieur à 5 µmol/L dans des eaux oxygénées mais jusqu'à 100 µmol/L dans des eaux profondes anoxiques). Le silicium est dissous sous forme d'acide orthosilicique Si(OH)₄. Il est principalement présent dans les régions volcaniques (350-550 µmol/L) tandis qu'en mer profonde les concentrations vont de 25 µmol/L dans l'Atlantique à 170 µmol/L dans l'Océan Pacifique. Les concentrations en silicium en surface dépendent fortement de l'activité biologique puisque certains organismes ont une enveloppe constituée de silice faiblement cristallisée.

De nombreux autres éléments sont présents à l'état de traces dans l'eau de mer comme le baryum Ba²⁺ (entre 0,01 et 0,05 ppm) ou l'iode I⁻ (0,065 ppm). Certains ont des concentrations de l'ordre de la nano mole par litre : aluminium, vanadium, chrome, manganèse, fer, nickel, cuivre, zinc, arsenic, sélénium, yttrium, césium, tungstène, antimoine.^[14]

3.2 Composition en gaz dissous de l'eau de mer

Les gaz dissous dans l'eau de mer sont de l'azote (64 %) et de l'oxygène (34 %). Les concentrations diminuent lorsque la température et la profondeur augmentent.

La proportion de dioxyde de carbone est 60 fois plus forte dans la mer que dans l'air (1,8 %).^[14]

3.3 Composition organique de l'eau de mer

L'océan est le plus gros réservoir de carbone organique sur Terre avec environ 700 Gt de carbone. La majeure partie du carbone organique se trouve sous forme dissoute (COD : Carbone Organique Dissous) à plus de 92 % tandis que la fraction particulaire (COP : Carbone Organique Particulaire), définie comme la fraction retenue sur un filtre de taille de pores entre 0,2 et 1 µm, représente entre 2 (pour les eaux profondes) et 8 % (pour les eaux de surface) du carbone organique total (COT) présent dans l'océan soit une moyenne de 3 %. La fraction vivante du COP ne représente qu'au maximum 5 % du COP. Pour les océans ouverts, le COT et le COD sont souvent équivalents.^[14]

• Matière organique particulaire

L'eau de mer contient de la matière organique particulaire (MOP) dont les constituants possèdent des tailles variées. Le phytoplancton, les levures, les bactéries et les petits organismes hétérotrophes comme le micro-zooplancton ont des tailles comprises entre 0,45 et 300 µm.

La production primaire des organismes autotrophes détermine la distribution du COP et de l'azote organique particulaire (NOP). La concentration en COP est généralement de 0,05mg/L à 1,00 mg/L pour les eaux côtières, de 0,15 mg/L en moyenne pour les eaux de surface et est quasi nulle pour les eaux profondes.

La concentration en NOP est de 0,029 mg/L pour les eaux de surface et de 0,013 mg/L pour les eaux profondes. Le rapport entre le carbone et l'azote dans la MOP est compris entre 6,6 et 7 ce qui correspond aux proportions stœchiométriques dans les cellules planctoniques.

Les bactéries hétérotrophes constituent la majeure partie de la MOP de dimension comprise entre 0,2 et 2 µm. Leur concentration est d'environ 1×10^6 cellules par ml. En raison du milieu marin pauvre en nutriments, la plus part de ces bactéries sont dans un état de latence.

Le phytoplancton constitue l'essentiel de la biomasse vivante présente dans les océans. Sa morphologie et sa taille (de 0,2 à 200 µm) peuvent être très variables mais sa composition chimique varie peu d'une espèce à l'autre de ces micro-algues. Le phytoplancton est majoritairement constitué de protéines (50 %), de sucres (30 %), de corps gras (10 %) et d'acides nucléiques (5 %) ce qui conduit à une formule brute moyenne $C_{4,32}H_{7,10}O_{1,99}N_{0,65}$ avec un rapport entre le carbone et l'azote de 7. Certains autres éléments comme le phosphore et le soufre peuvent également être présents dans le

phytoplancton. Il est à noter que les zones côtières jouent un rôle primordial dans la production biologique de l'océan. Elles ne représentent que 8 % de l'océan mais fournissent 25 à 50 % du carbone organique marin. [14]

•Chlorophylles

Les chlorophylles sont des récepteurs primaires et secondaires de la lumière dans le mécanisme de la photosynthèse du phytoplancton marin. Ces molécules servent à transférer l'énergie lumineuse lors de la photoréaction et à la convertir en énergie chimique de réduction ou d'oxydation. Les chlorophylles sont des tétra-pyrroles contenant un atome de magnésium central. Les trois formes de chlorophylles a, b et c diffèrent par certains substituant des cycles aromatiques. La chlorophylle-a est présente dans tous les phytoplanctons et la chlorophylle-b dans les algues vertes. La concentration en chlorophylle a est comprise entre 0,05 µg/L dans les eaux côtières tropicales et 30 µg/L dans les eaux côtières du Pacifique Nord et de l'Atlantique Nord. [14]

•Matière organique dissoute

La matière organique dissoute (MOD) de l'eau de mer a pour origine l'activité biologique planctonique (production primaire et secondaire), les apports continentaux par les fleuves et l'activité humaine (qui peuvent être importants en zones côtières) et les apports atmosphériques. Ils sont respectivement de 2 à 3 x 10¹⁴ mol de C par an pour les apports continentaux et d'environ 1,7 x 10¹⁴ mol de C par an pour les apports atmosphériques. La production primaire s'élève à 33 x 10¹⁴ mol de C par an dont 85 % est assuré par le phytoplancton. La concentration en COD est comprise entre 0,5 et 4 mg/L en eau de mer de surface mais peut atteindre 20 mg/L pour les eaux côtières. Pour les océans ouverts, la concentration est souvent voisine de 1 mg/L. [14]

4. Les différents procédés de dessalement

Il existe plusieurs procédés de dessalement qui peuvent classée en deux grandes familles :

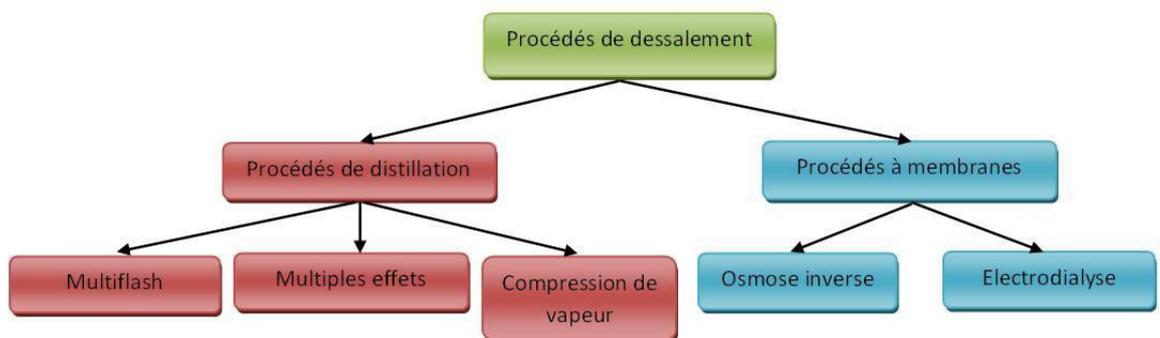


Figure 7 : Les procédés de dessalement. [15]

4.1 La distillation

Les techniques de dessalement de l'eau de mer les plus utilisées La distillation ou dessalement thermique. L'eau de mer est chauffée jusqu'à évaporation. Seules les molécules d'eau s'échappent, laissant en dépôt les sels et les autres substances. La vapeur d'eau est condensée pour obtenir de l'eau douce. Ce principe de dessalement très simple est utilisé depuis longtemps.

Le principe fondamental mis en œuvre dans les procédés de distillation est le fait que la température d'ébullition de l'eau diminue avec la pression. Il s'agit dans tous les cas de distillation sous vide qui permet de travailler à des températures inférieure à 120°C. [15]

4.1.1 Distillation a simple effet

Un faisceau tubulaire, alimenté par un fluide chauffant est plongé dans l'eau de mer à la Partie basse d'une enceinte étanche et sous vide.

Le fluide chauffant provoque alors une évaporation de l'eau de mer. La vapeur ainsi formée est condensée sur un faisceau tubulaire, placé dans la partie haute de l'enceinte et dans lequel circule l'eau de mer froide. L'eau distillée et condensée s'écoule du faisceau et est recueillie dans une goutlotte d'où elle est pompée pour des usages divers. La température d'ébullition de l'eau de mer varie avec la pression donnée, il est important de noter que, pour une pression donnée, il existe un écart entre la température d'ébullition de l'eau pure et celle d'une eau saline. [15]

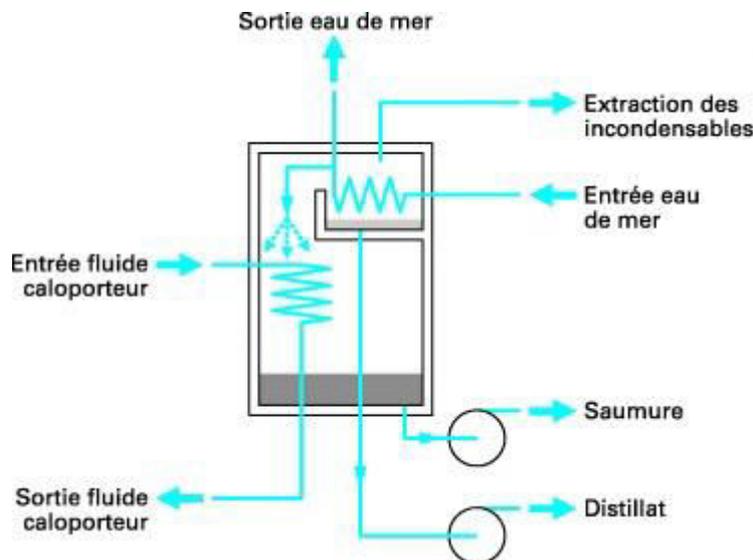


Figure 8 : distillation simple effet^[15]

4.1.2 La distillation a multiple effet

Le principe consiste à faire évaporer l'eau salée préchauffée auparavant à une température de 70 à 80°C sur une surface d'échange (tubes horizontaux, plaques etc...) et sous pression réduite. La chaleur qui provient d'un fluide caloporteur (vapeur ou eau chaude provenant d'une chaudière ou d'un récupérateur de chaleur comme par exemple un capteur

solaire), traverse la surface de l'échangeur par conduction et va chauffer l'eau salée qui s'écoule sous forme de film sur sa surface jusqu'à son évaporation.

La vapeur ainsi produite dans le premier effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le deuxième effet où règne une pression plus faible. La chaleur de condensation cédée par la vapeur, va faire évaporer une partie de l'eau salée contenue dans le deuxième effet et ainsi de suite jusqu'au nième effet. Plus n augmente et plus la consommation en énergie par m³ diminue. [16]

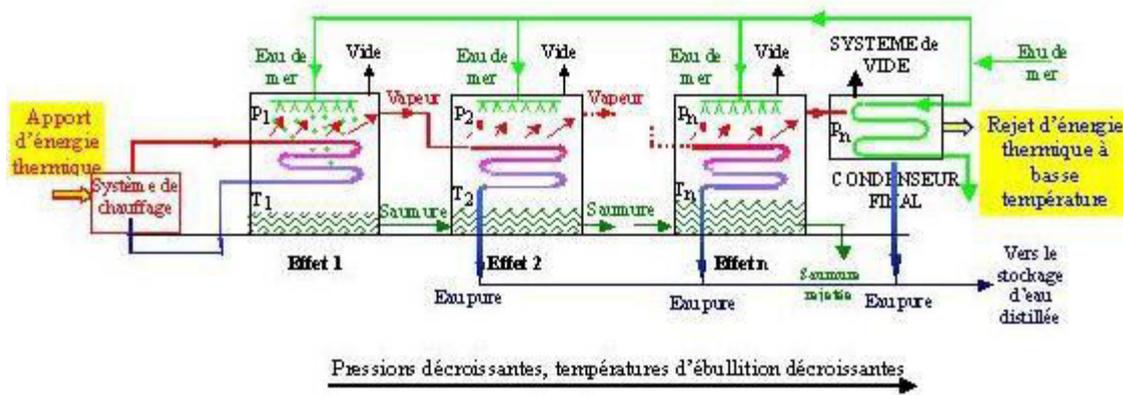


Figure 9 : distillation multiple effet[16].

4.1.3 La distillation à détente étagés MSF

Cette technique consiste à maintenir l'eau salée sous pression pendant toute la durée du chauffage. L'eau salée qui est introduite dans une enceinte (étage) où règne une pression réduite, va s'évaporer instantanément dès que sa température atteint les 120°C. Cette vaporisation instantanée par détente est dite flash. L'eau évaporée, va se condenser sur des tubes condenseurs placés en haut de la chambre. Le condensat ainsi produit est une eau liquide qu'on récupère dans des réceptacles en dessous des tubes.

L'ébullition de l'eau salée qui se refroidit, va s'arrêter dès que sa température atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans le premier étage. Le même principe est reproduit dans le deuxième étage où il y'a une pression plus faible. L'évaporation de l'eau salée est ainsi réalisée par détente successive dans une série de n étages où règnent des pressions de plus en plus réduites. [16]

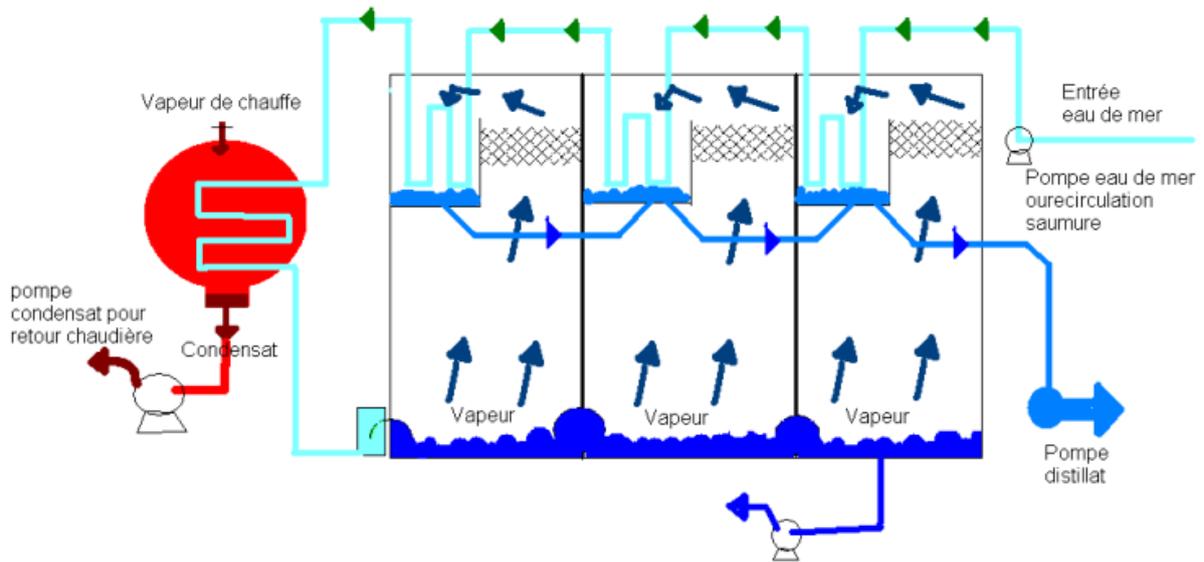


Figure 10 : La distillation à détente étagée MSF.^[16]

4.1.4 Procédé par détentes successives ou procédé flash

Dans le procédé de distillation par détentes successives, l'eau de mer, après avoir été prétraitée, est introduite à la température T_0 dans des condenseurs en série placés dans une succession de chambres. l'eau de mer s'échauffe dans ces condenseurs jusqu'à la température T_1 . Elle est alors introduite dans un réchauffeur qui élève la température jusqu'à T_{max} . Le réchauffeur est alimenté par un débit de vapeur M_V provenant d'une chaudière ou de l'échappement d'une turbine. L'eau de mer chaude est alors introduite dans le bas de la première chambre où règne une pression inférieure à sa pression de saturation. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée « flash » : la vapeur ainsi produite va se condenser sur la surface du condenseur, forme la production d'eau douce de la 1^{er} chambre. Ce phénomène se reproduit à la chambre 2, puis 3, jusqu'à la chambre n. les températures des chambres (t_1, t_2, \dots, t_n) vont en décroissant et par conséquent, il en est de même pour les pressions. Ce sont les écarts de pression entre les chambres qui autorisent, sans la nécessité de pompes, l'écoulement de l'eau de mer et de l'eau douce produite jusqu'à la dernière chambre.

le profil de température de l'eau de mer depuis son entrée dans l'évaporateur jusqu'à sa sortie sous forme de saumure est donné au bas de la figure 10.

L'installation fonctionne sous vide, tout au moins pour les chambres dont la température est inférieure à 100 C et il ya toujours des entrées d'air inévitables qui s'ajoutent au CO_2 formé par la décomposition des ions bicarbonates et qui se dégagent dans les chambres. Pour maintenir le bon fonctionnement, il est nécessaire d'extraire en permanence ces gaz incondensable. ^[15]

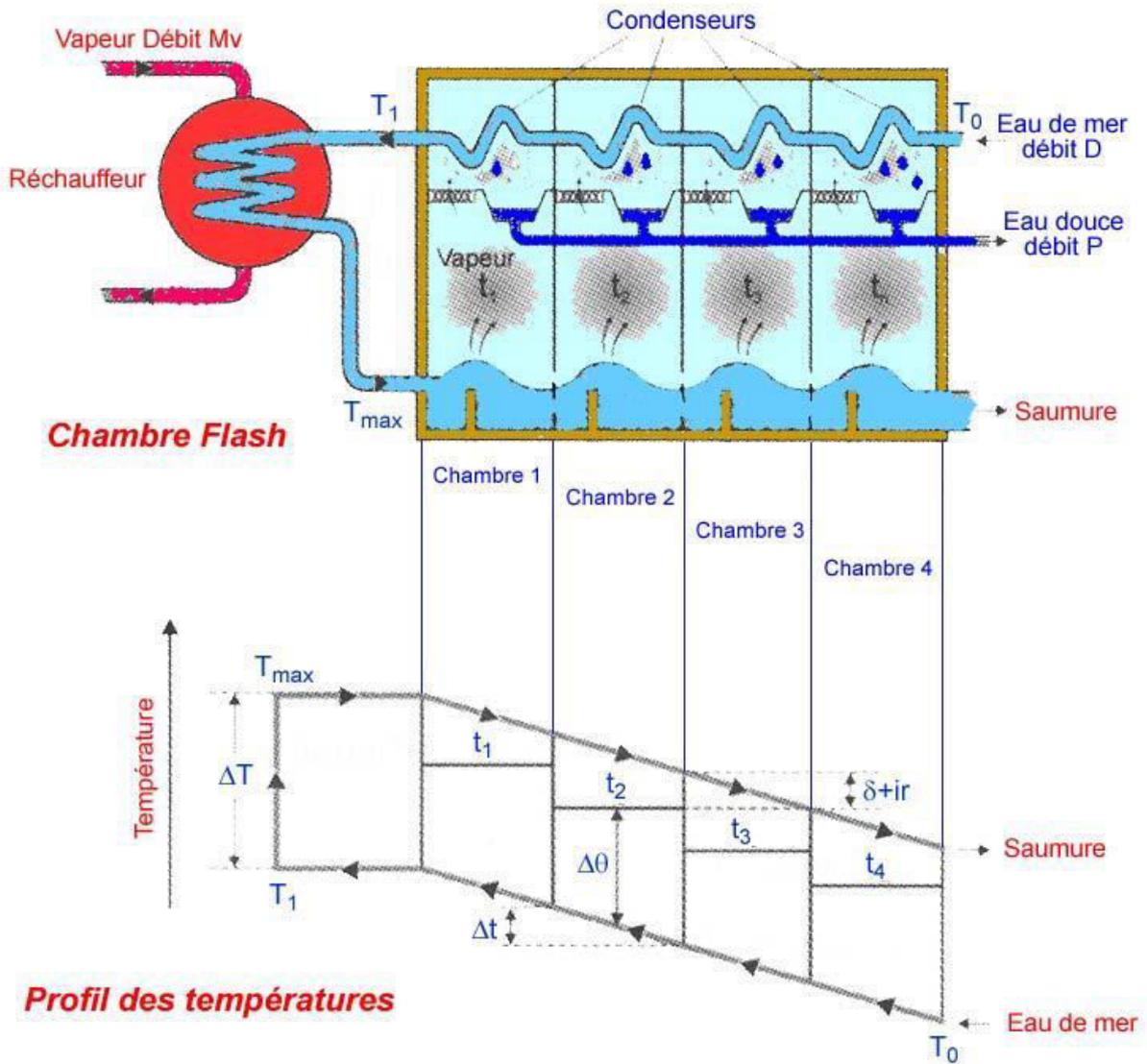


Figure 11 : Procédé par détente successive ou procédé flash.^[38]

4.1.5 Distillation par compression de vapeur

L'eau de mer à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte thermique isolée. La vapeur produite est aspirée par le compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire placé à la base de l'enceinte et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée.^[15]

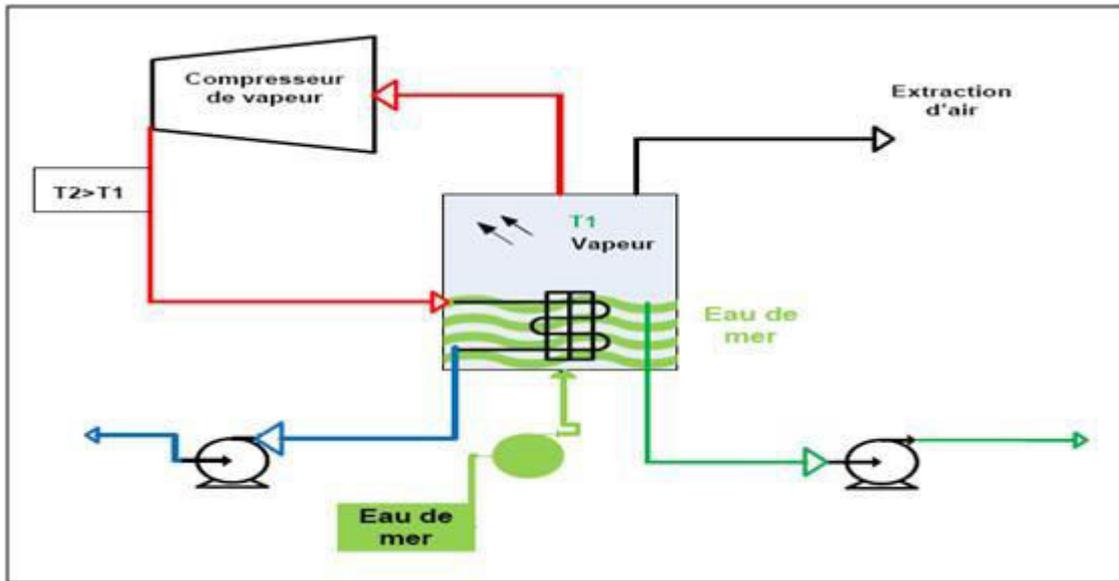


Figure 12 : Distillation par compression de vapeur.^[15]

4.2 Les procédés membranaires

4.2.1 Définition

Une membrane est une barrière de quelques centaines de nanomètres à quelques millimètres d'épaisseur, qui contrôle le transfert d'espèces chimiques entre deux milieux qu'elle sépare.

Sous l'effet d'une force de transfert, elle va permettre ou interdire le passage de certains composants entre les deux milieux qu'elle sépare. La force de transfert recouvre le gradient de pression, de concentration, d'activité, de potentiel électrique ou encore de température.

Une membrane peut avoir une structure homogène ou hétérogène, symétrique ou asymétrique. Elle est soit solide ou liquide, organique ou inorganique.

Les membranes sont soit neutre ou chargées (positivement ou négativement), possédant ainsi des groupements fonctionnels avec des liaisons spécifiques avec capacité de complexations.

La partie du mélange retenue par la membrane est appelée retentât, alors que la partie qui traverse cette dernière est appelée perméat. ^[18]

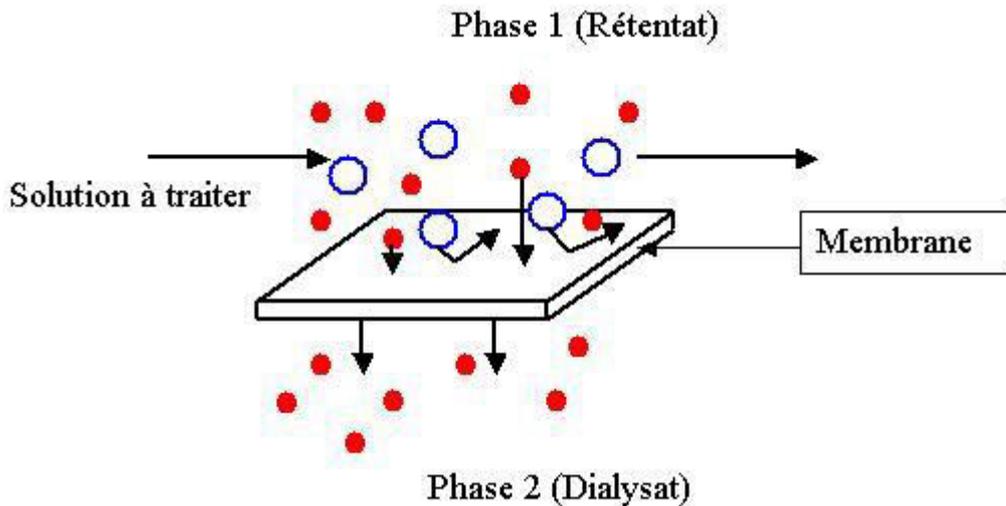


Figure 13 : Schéma du principe du fonctionnement d'une membrane.^[18]

4.2.2 Classification des procédés membranaires

La filtration

Les techniques de filtration membranaire ont recours à des membranes poreuses. Les composés retenus sont sélectionnés sur une base stérique, c'est-à-dire en fonction de la taille des molécules qui les composent (figure 14). On distingue deux types de procédés, la filtration tangentielle et frontale.

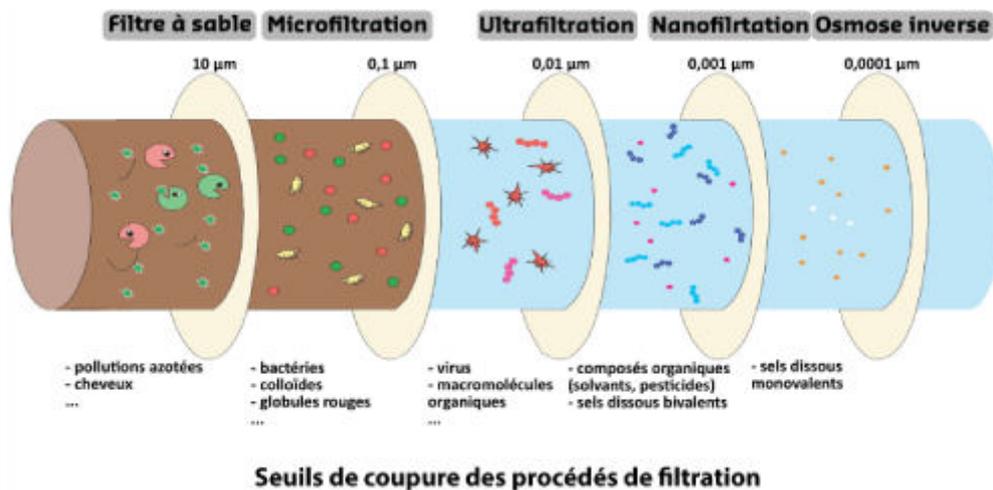


Figure 14 : Échelle de classification des méthodes de séparation membranaire.^[18]

Dans le cas de la filtration tangentielle : le fluide circule parallèlement à la membrane à partir d'un réservoir sous l'action d'une pression seule le perméat traverse les pores de la membrane sous l'effet de différence de pression (pression transmembranaire p_{tm}).

Tandis que le retentât est évacué vers le réservoir. Les pores de la membrane vont arrêter les macromolécules et les particules de taille supérieure. Alors que dans le cas de la

filtration frontale le fluide est forcé à traverser la membrane perpendiculairement à l'écoulement. [18]

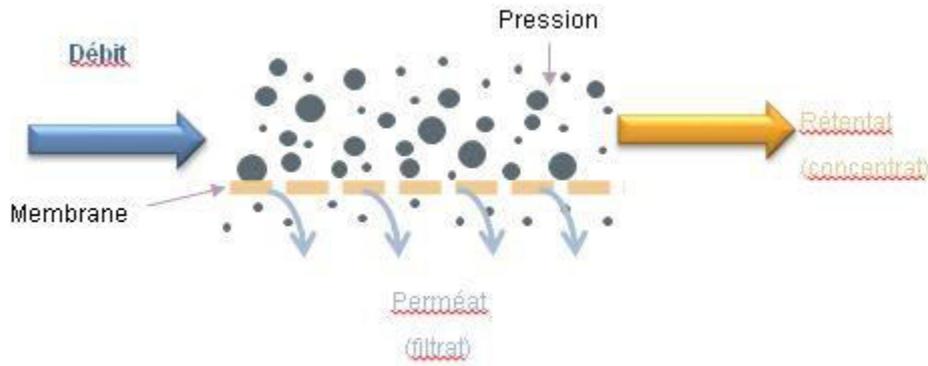


Figure 1 : principe de la filtration membranaire.

Figure 15 : Filtration tangentielle. [18]

✚ Microfiltration

Ces membranes sont caractérisées par leur diamètre moyen de pore (d_p) compris entre $0,05 \mu\text{m}$ et $5 \mu\text{m}$ la ptm se situent entre 0,1 et 3 bars, la membrane retient les particules, mais pas les molécules. Dans ce type de procédé on à pas de pression osmotique. Application dans le domaine alimentaire, agroalimentaire, et biotechnologie.

Fabricants de ce type de membranes : France : Orélis, Exékia, Tami. Allemagne : Sartorius, Aaflow, USA : Pall, Millipore. [18]

✚ Ultrafiltration (UF)

Ces membranes ont des pores plus petits que celles de micro-filtration $2\text{nm} < d_p < 50\text{nm}$, la ptm est située entre 1 et 8 bar, ces membranes arrêtent les macromolécules, les protéines, virus et les colloïdes.

Domaines d'application : industrie agro-alimentaire, bio-industries, mécanique (automobile, traitement de surface...), pétrochimie... concentrer et purifier les composés.

Fabricants : Schumacher, Akzo. France : Tami, Exekia. Hollande : Xflow. Angleterre : PCI. USA: Amicon, Romicon, Koch, Pall, Millipore, Osmonics, Filmtech. Japon: Asahi, Kuraray. [18]

✚ Nanofiltration (NF)

La Nanofiltration est un procédé de filtration unique. Elle est utilisée pour obtenir une séparation très spécifique de composés à faible poids moléculaire. Par ailleurs le d_p est situé entre 0,5 et 2 nm, alors que la ptm est entre 5 et 25 bar, ces membranes retiennent les molécules ayant de poids moléculaire $< 2000 \text{ Da}$. En effet ce procédé inclut la déminéralisation des produits laitiers, la récupération des protéines hydrolysées, la concentration des sucres ainsi que la purification des colorants solubles et des pigments.

Eléments retenus : les sucres, les minéraux dissous, les sels. Domaines d'application : déminéralisation sélective avec élimination d'ions multivalents, régénération de bains usés de dépôts de cuivres. [18]

4.2.3 Osmose inverse

L'osmose inverse (OI) est née de la réversibilité de l'osmose naturelle :

a. Osmose direct

Lorsque l'on place dans deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable, la même quantité d'une solution d'eau pure (B) et d'une solution aqueuse contenant des sels (A), on constate le transfert de l'eau pure de (B) vers (A) jusqu'à ce que la pression due au liquide contenu en (A) empêche le transfert. La différence de niveau entre les deux compartiments est la pression osmotique, notée P_0 (figure 15).

En première approximation, la pression osmotique d'une solution peut être calculée avec la loi de Van't Hoff .

Elle exprime que la pression osmotique P_0 exercée par le soluté est égale à la pression que le corps aurait exercé à l'état gazeux parfait dans le même volume et à la même température.

$$P_0.V=Nj.R.T$$

N_j Nombre de moles de soluté j

R Constante des gaz parfaits

T Température absolue Si le soluté est dissocié en i ions,

la pression est i fois supérieure.

En notant que $C_j=N_j/V$, on a :

$$P_0=i.C_j.R.T$$

Cette loi n'est valable que pour les solutions diluées et donc les pressions osmotiques faibles (environ 60-70 bars maximum). [19]

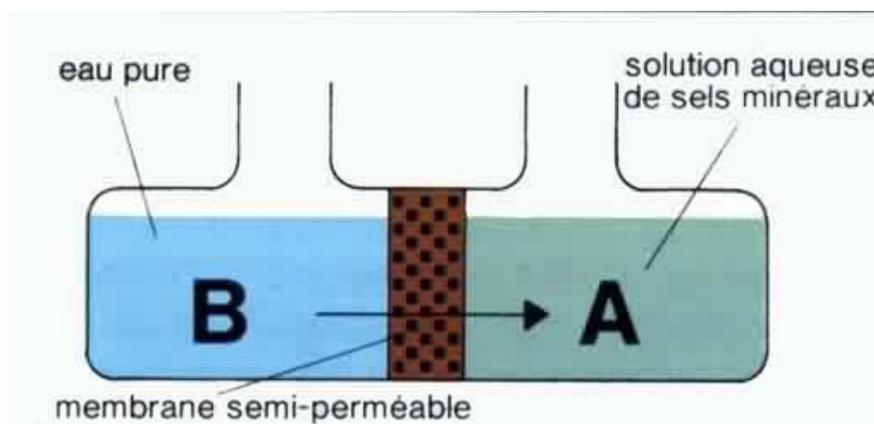


Figure 16 : osmose direct. [19]

b. Osmose inverse

Si l'on applique à la solution (A) une pression $P > P_0$, l'eau pure s'écoule en sens inverse de (A) vers (B) à travers la membrane semi-perméable (permet seulement le passage de l'eau) (figure 17): c'est l'osmose inverse. ^[19]

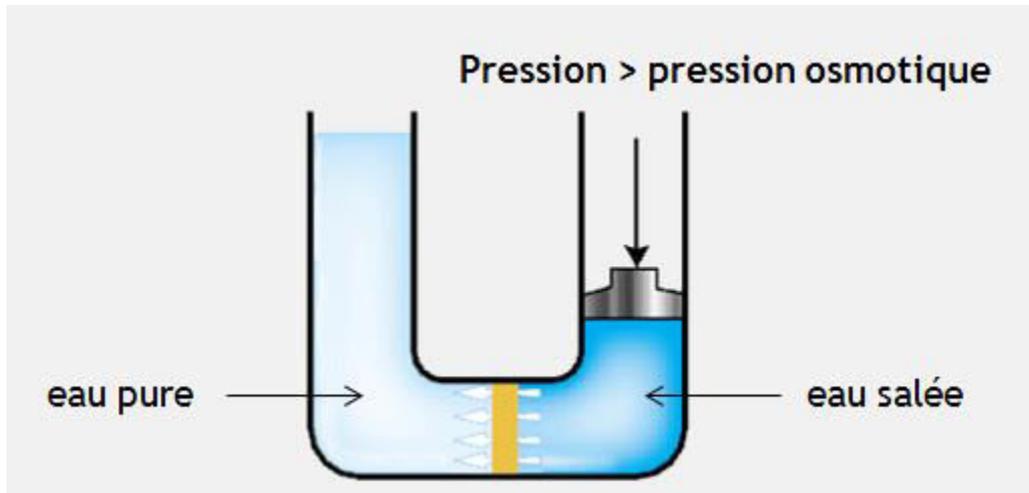


Figure 17 : osmose inverse. ^[19]

L'eau (ou le liquide) est ainsi débarrassée des contaminants type bactéries, colloïdes fins, molécules de petite taille et les ions qui sont bloqués par la structure membranaire. Les membranes couramment employées sont asymétriques, constituées de feuilles plates en acétate de cellulose, de fibres creuses en polyamide aromatique ou d'un film mince composite où une couche extrêmement fine de polymère très hydrophobe est placée sur un support microporeux usuellement fait en polysulfone. Les performances d'un module d'osmose inverse sont non seulement déterminées par la structure de la membrane mais aussi par la nature et la concentration des solutés à séparer qui déterminent, en fonction de la pression osmotique, la pression à appliquer. De plus, il faut veiller à la température et au pH. Le rendement est déterminé par la quantité de fluide traversant la membrane par rapport à la quantité pompée en direction du système. La plus commune des utilisations pour l'osmose inverse est le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. Le but est de supprimer les sels dissous et les matières organiques de l'eau. A cause de la forte pression osmotique de ces solutions, les unités d'osmose inverse doivent fréquemment opérer à forte pression (jusqu'à 70 bars) et les composants annexes doivent être beaucoup plus robustes que pour d'autres techniques membranaires. ^[19]

Tableau 6 : Pression osmotique de quelques solutions aqueuses en fonction de leur concentration.^[19]

	Concentration (mg/l)	Pression osmotique (bar)
NaCl	35	27.9
	5	3.9
	1	1.2
	0.5	0.9
Eau de mer	44	32.3
	32	23.1
Glucose	18	2.4
	90	1.2

L'OI apparaît comme une solution pour le traitement de certains effluents. La technologie est encore parfois considérée comme problématique avec un risque dans la sécurité du procédé à cause des pressions à exercer. Il existe tout de même des applications où la valeur du matériau récupéré ou l'enjeu économique accompagnant les rejets polluants justifient le coût du procédé. C'est le cas pour le traitement des effluents de papeterie. Ils contiennent beaucoup de matière organique donnant une DCO (demande chimique en oxygène) élevée. Mais, la présence de composés organo-chlorés empêche tout traitement biologique à cause de leur forte toxicité envers les bactéries. La séparation par UF n'est que faiblement efficace à cause des faibles masses moléculaires de ces composés. L'utilisation de l'OI permet d'obtenir une eau de bonne qualité qui peut, soit, être recyclée comme eau de lavage par exemple, soit envoyée dans le réseau d'eau pluviale. Le niveau de pollution est ainsi largement abaissé. Par contre, le retentât n'est qu'un déplacement de pollution. Pour que la réponse soit complète il faudra aussi le traiter. Sur ce point les papetiers cherchent aussi d'autres voies en améliorant les procédés de blanchiment par l'élimination du chlore au profit de l'ozone.^[19]

4.2.3 Electrolyse

L'électrodialyse est une technologie membranaire qui utilise l'énergie électrique pour transférer des espèces chargées. Il s'agit à l'origine, dans les années 1930, d'utiliser un courant électrique pour accroître le transfert de matière des espèces chargées par rapport à celui obtenu par une simple dialyse. A l'heure actuelle, l'électrodialyse utilise des membranes spécifiques, disposées en alternance orthogonalement à un champ électrique. Le réacteur est constitué d'un empilement de membranes, souvent désigné par le terme

« stack », lui-même composé d'une répétition de motifs élémentaires identiques, montés dans un arrangement type « filtre-presses ». ^[20]

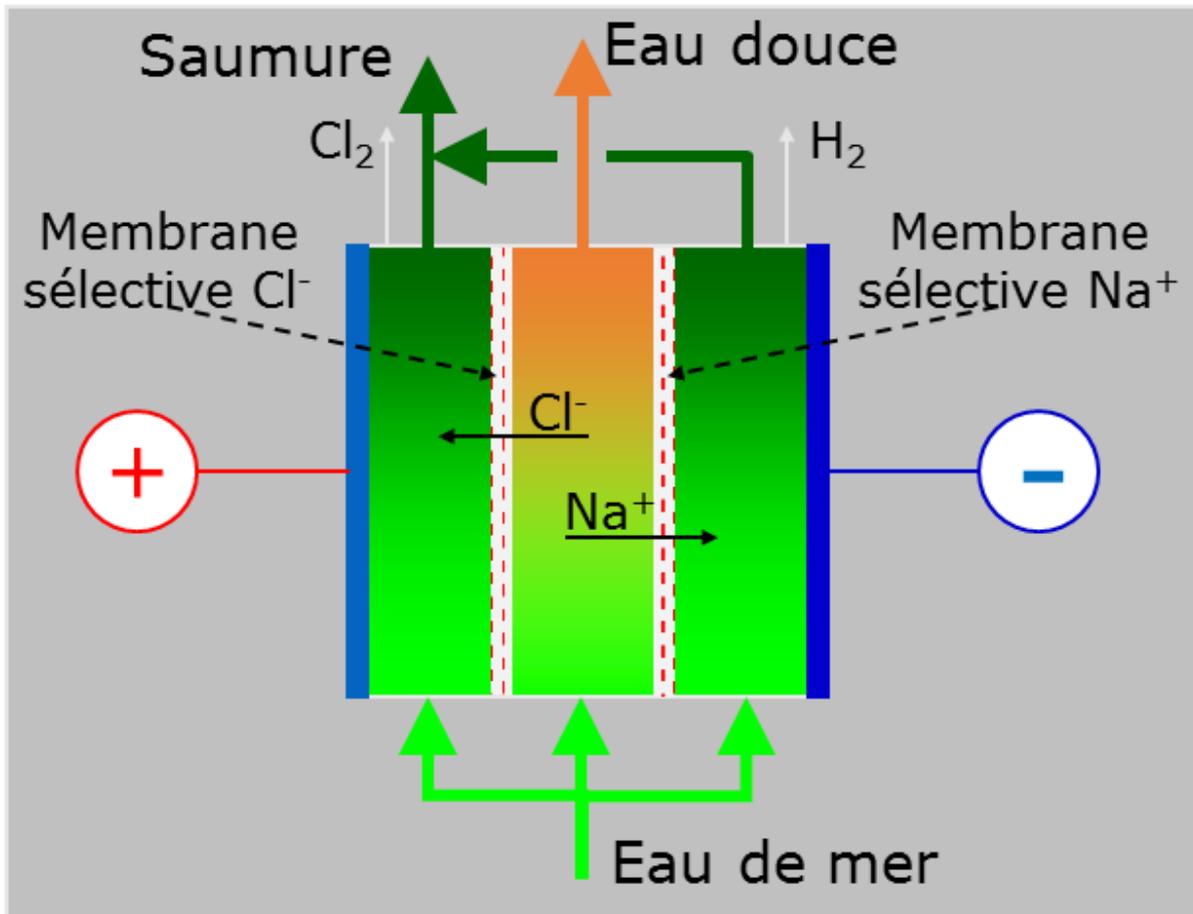


Figure 18 : procédé électrodialyse.^[20]

On distingue trois types d'électrodialyse :

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

Le point commun de ces techniques est la mise en œuvre de membranes échangeuses d'ions permettant de transférer des ions de façon sélective sous l'effet d'un champ électrique. ^[21]

✚ L'électrodialyse dite conventionnelle (ED)

Le terme dialyse désigne la diffusion d'une solution à travers une membrane qui lui est perméable. L'électrodialyse désigne le transfert d'ions à travers une membrane qui leur est perméable sous l'effet d'un champ électrique.

✚ L'électrodialyse à membrane bipolaire (EDMB)

Titrées d'une face perméable aux anions et d'une face perméable aux cations. Sous l'effet d'un champ électrique, l'eau présente au cœur de la membrane est dissociée en ions H^+ et OH^- générés respectivement par les faces cationiques et anioniques.

✚ L'électrolyse à membranes (EM)

L'électrolyse à membranes est la technique électro-membranaire dans laquelle on couple les effets d'une électrodialyse (migration d'ions au travers d'une membrane semi-perméable) à ceux d'une électrolyse (réaction aux électrodes).

4.3 Autres procédés

4.3.1 Echange ionique

Le phénomène d'échange d'ions se produit quand on met en contact une eau saumâtre avec certaines substances insolubles ayant la propriété d'échanger certains de leurs ions avec les sels de l'eau. Les produits employés actuellement sont des produits insolubles dénommés échangeurs d'ions (résines synthétiques sous la forme de graines d'environ 0,3 à 1,5 mm). Cette méthode est applicable seulement pour les eaux contenant jusqu'à 10 g/L de sel. [22]

4.3.2 Dessalement par congélation

Le dessalement par congélation est basé sur le changement de phase liquide-solide de l'eau de mer. Selon la thermodynamique, la glace formée à partir de l'eau de mer est pure. Elle peut être séparée de la solution concentrée, puis fondue afin d'obtenir une eau douce. En pratique, la glace est contaminée par les sels lors de la congélation pour des raisons cinétiques, et par la saumure elle-même pendant la séparation glace solution ; Le procédé doit permettre de minimiser cette contamination. [22]

4.3.3 Distillation solaire

La distillation solaire est un procédé simple et pouvant être appliqué de façon rustique mais elle ne convient évidemment qu'aux régions où l'ensoleillement est suffisant. L'eau salée dans un bac va se chauffer (d'autant plus vite que le bassin est noir) et avec l'augmentation de température une partie de l'eau s'évapore et la vapeur d'eau se liquéfie sur la surface intérieure de la vitre transparente. Eventuellement des gouttes d'eau vont se former, couler sur la surface de la vitre et tomber dans le récupérateur situé au coin. Il faut régulièrement nettoyer le bassin pour éliminer le sel. [22]

5. Les avantages et les inconvénients de dessalement

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. ^[23]

Toutefois, quel que soit le procédé utilisé, il n'est pas sans inconvénients :

- Besoins énergétiques importants ;
- Rejet des saumures concentrées en mer ou injectées dans le sol ;
- Emplois de produits chimiques pour nettoyer les membranes ;
- Traces des métaux lourds échappés des installations ;
- Aucune législation spécifique concernant la potabilité de l'eau 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). ^[23]

6. Conclusion :

Le dessalement de l'eau de mer est une activité en très forte croissance

Toutes les techniques de dessalement sont très intéressantes au vu de leurs performances et de leur rentabilité.

L'osmose inverse a connu un développement technologique avec l'apparition des membranes en polyamides sur le marché dont la durée de vie est plus importante. Il s'agit d'une technique performante qui peut être utilisée sur une grande plage de concentration ; comparé à l'électrodialyse et à la distillation qui sont réservés à des domaines plus spécifiques.

Le dessalement est une technologie d'avenir mais il faut l'utiliser en dernier recours et quand aucune autre solution n'est possible.

1. Introduction

Dans le cas des installations de dessalement d'eau de mer, des problèmes peuvent se poser dans le cas où les rejets de saumures sont évacués aux larges et éventuellement dilués par les courants marins.

Les scientifiques s'accordent sur le fait que les impacts des effluents issus de ces usines sont principalement dus à la forte concentration en sel et dans une moindre mesure à la présence de produits chimiques et à la température potentiellement élevée de ces eaux.

Les effets à long terme de ces modifications de l'environnement marin sont mal connus, bien que certaines études d'impact des rejets d'usines soient en cours

2. Présentation de la station de dessalement Chatt El Hilal

Cette unité de dessalement a été implantée au Nord-Ouest de la ville d'Ain-Temouchent à environ 16 Km.

Le site est localisé sur la rive gauche de la plage Chat El Hillel, commune de Sidi Ben Adda, wilaya d'Ain-Temouchent, elle s'étend sur une superficie de 657 000 m².



Figure19: Situation géographique de dessalement de Beni Saf.^[3]

2.1 Intervenants dans le projet

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

Le 26 Mai 2004, GEIDA (société de droit espagnol) a remporté l'appel d'offre international N°05/ AEC/ 2003 relatif à la conception, la construction, le financement, la possession et l'exploitation de l'usine de dessalement de Béni Saf.

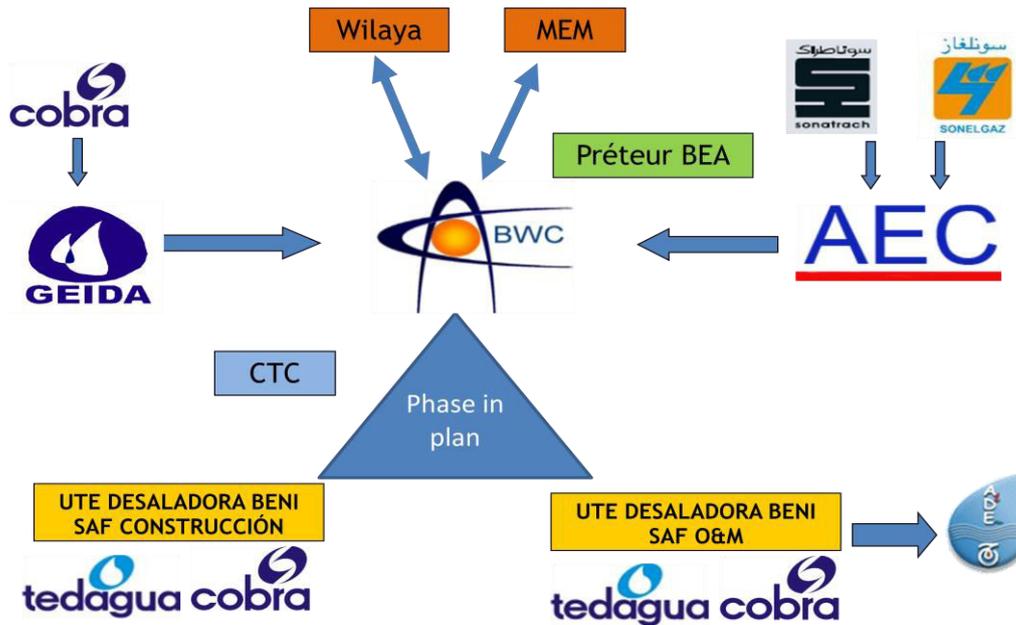


Figure 20 : Organigramme de la station.^[3]

2.2 Présentation de la station Beni Saf

L'unité de dessalement de Beni Saf a été créée pour éliminer la déficience en matière d'alimentation en eau potable de la wilaya d'Ain-Temouchent, d'une capacité journalière de 200 000 m³.

Elle a été mise en service partielle le mois de Novembre 2009, et en service final le mois d'Avril 2010.

Elle est nettement réalisée pour améliorer la dotation quotidienne par habitant qui est de 90 L en 1999 à 125 L à fin 2009 et 248 L à 2018.

La station fonctionne selon le procédé de traitement d'Osiose Inverse, ce procédé a connu un grand développement durant les dernières décennies, et présente beaucoup d'avantages.

Cette dernière comprend une station de pompage d'eau brute, une station de production un logement de services, un local de stockage d'eau, atelier, bassin de saumure, équipements de nettoyage, système de communications, système de contrôle et un laboratoire.

2.3 Processus de dessalement de l'eau de mer par osiose inverse

Les données (énergie, eau brute, produits chimiques,...) varient en fonction du régime de travail, du mécanisme ainsi que des dimensions de l'usine.

Le fonctionnement de l'usine est automatisé, grâce à un ordinateur industriel et plusieurs Automates.^[6]

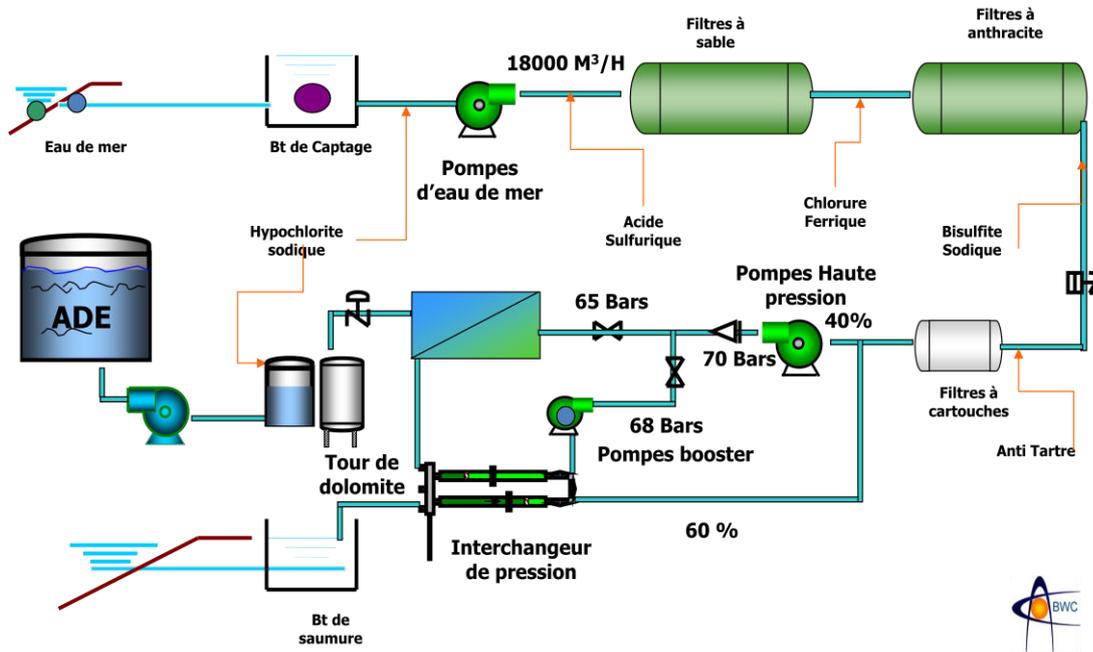


Figure 21 :Le processus de station.[3]

2.4 Description du fonctionnement de la station de dessalement d'eau de mer

2.4.1 Captage d'eau de mer

Le système de captage est ouvert, l'eau de mer est captée à partir d'un (1km) de la côte grâce à un émissaire en PEHD DN 2400 mm. A l'extrémité de l'émissaire, une tour de 10m de hauteur est érigée sur un fond à 18m pour capter une eau plus ou moins propre. L'eau est véhiculée à l'intérieur de la conduite par gravité avec une vitesse d'écoulement inférieure à 1m/s.



Photo 01: la tour de captage. [BWC]

Après une première filtration brute, l'eau de mer est tamisée à l'aide de filtres rotatifs avant d'être pompée à partir du bassin de captage vers le prétraitement, sur une distance de 900 mètres.



Photo02 :

Les grilles

amovibles.^[BWC]

2.5 La station de pompage

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

- 11 pompes centrifuges horizontales (Sulzer);
- 10 pompes en marche, 01 pompe en stand by ;
- 01 système d'amorçage des pompes à vide composé de 02 compresseurs d'air ;
- Le système d'amortisseurs de chocs hydrauliques (anti-bélier) composé de 2 réservoirs identiques.^[3]



Photo03 : pompes de pompage et bassin de stockage.^[BWC]

Il faut passer par prétraitement pour éviter le colmatage des membranes comme suit :

2.6 Filtration par filtres à sable

La filtration est la barrière ultime et obligatoire de la filière de traitement des eaux dans la majeure partie des cas.

Le filtrage est un processus suffisamment connu, au cours duquel l'eau traverse un milieu filtrant poreux, qui retient mécaniquement les solides en suspension, le milieu filtrant utilisé par la station de Beni Saf est le sable de silice bicouche.

Une couche de sable grossier (couche support) est située en bas du filtre.

Une couche de sable plus fin (couche filtrante) la recouvre et retient les particules les plus fines.

Il est constitué de deux trains de filtrage identiques, ayant chacun la capacité de filtrer 50% de l'eau nécessaire.

Chaque train de filtrage est constitué de 24 filtres regroupés en douze modules ou paires de filtres. Chaque module est constitué de deux filtres identiques fonctionnent comme une unité filtrante.



Photo 04 : Module de filtre à sable.^[BWC]

Les fonctions du système de filtrage à sable consistent à retenir les solides en suspension présents dans l'eau de mer et les floccs formés à l'étape préalable de coagulation, l'eau étant ensuite prête à passer par les filtres à anthracite.

En fonctionnement normal, le débit requis pour alimenter le système de filtrage à sable est de 18 000 m³/h, avec une pression de 2 à 3 bars.

L'alimentation du système est assurée par dix pompes appartenant au système de captage.^[6]

2.7 Filtrage à anthracite

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



Photo05 :zone des filtres à sable et à anthracite de la SDEM de Béni Saf.^[BWC]

2.8 Filtration par cartouches

Le système de filtration par cartouches est conçu pour retenir les particules de plus petite taille (jusqu'à 5 microns absolus) qui n'ont pas été retenues par les filtres à sable et à anthracite et qui pourraient endommager les installations des modules d'OI.^[3]

Il est composé en tout de vingt filtres de forme cylindrique de diamètre unitaire interne de 1,36 m et de hauteur totale environs de 4,285 m.



Photo 06 :Les filtres à cartouches.^[BWC]

Le débit d'eau filtrée qui alimente le système de filtration par cartouches de 17 996 m³ /h.

A l'intérieur des filtres est placée une plaque support qui soutient les cartouches. Sur cette plaque sont montées 380 cartouches en polypropylène.

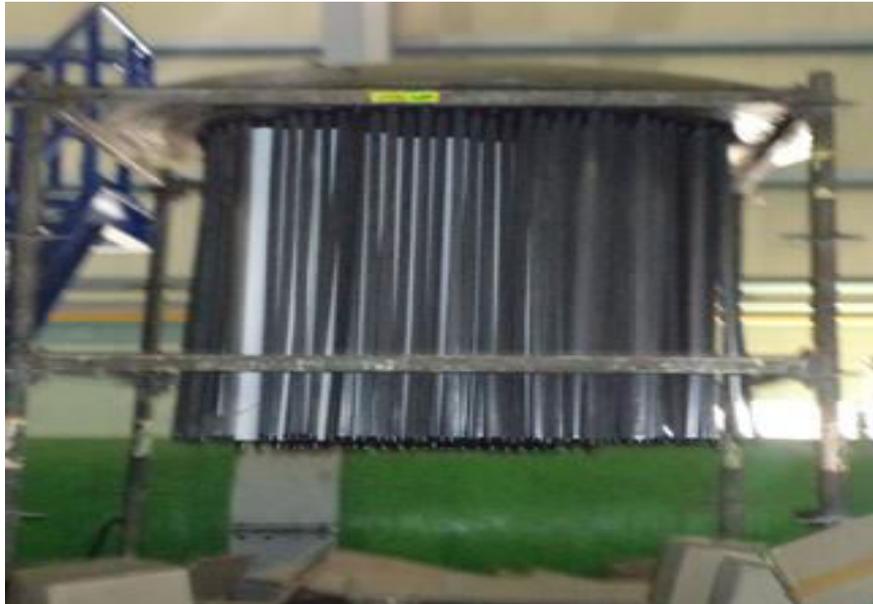


Photo 07 : Les cartouches d'utiliser.^[BWC]

2.9 Post d'osmose inverse

Le système d'osmose inverse est composé de :

10 unités de production de 20 000 m³/j chacune ;

- 256 tubes à pression par unité ;
- 1792 membranes dans chaque unité, soit 7 membranes dans chaque tube à pression;
- 01 pompe centrifuge de haute pression par unité ;
- 01 pompe de recirculation par unité ;
- 22 récupérateurs d'énergie par unité.

Ce système a pour fonctions :

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

Le processus de dessalement s'effectue par le passage de l'eau de mer d'alimentation à travers des modules de membranes semi-perméables disposés en série à l'intérieur de chaque tuyau de pression et en parallèle dans chaque module.

Pour que le courant d'entrée au châssis d'osmose inverse traverse la membrane, il est nécessaire que la pression exercée sur celle-ci soit supérieure à sa pression osmotique.

De cette manière, à partir du courant d'eau de mer qui a une plus grande concentration saline, il se produit un courant d'eau produit ayant une concentration plus faible, le perméat, et un autre courant de rejet, la saumure, avec une teneur en sels bien supérieure à celle que possédait initialement le courant d'eau d'alimentation.



Photo 08 : la zone de production de la SDEM de Béni Saf.^[BWC]

Le système d'OI se trouve à l'intérieur du bâtiment de production et est organisé en trois sous-systèmes différenciés essentiellement par la nature du fluide qu'ils acheminent. Chaque sous-système dispose de ses propres collecteurs principaux, de ses instruments et de ses vannes associées.

Il y a les sous-systèmes suivants : Sous-système d'eau d'alimentation :

le fluide circulant est l'eau de mer d'entrée au traitement d'OI.

L'eau de mer d'alimentation aux membranes doit être préalablement conditionnée dans les conditions requises par celles-ci.

Ce conditionnement est essentiellement basé sur un contrôle de la matière en suspension et sur un dosage chimique pour éviter la croissance biologique et la précipitation d'incrustations dans les membranes.

Sous-système d'eau dessalée : le fluide de circulation est l'eau qui a traversé les éléments de la membrane (7 membranes par tube de pression).

Ce courant est caractérisé par le fait qu'il possède une plus faible concentration saline que celle de l'eau de mer. Sous-système d'eau de rejet :

le courant de saumure circule dans ce sous-système. Il ne traverse pas les éléments de membrane et c'est le courant ayant la concentration saline la plus élevée.

2.10 Poste traitement

L'eau provenant du bloc d'osmose passe par la dernière étape dans le processus de dessalement, pour assurer une bonne qualité d'eau produite, elle va subir deux traitements :

2.10.1 La neutralisation (Ajustement du pH)

L'eau produite par osmose inverse est agressive, son pH est inférieur au pH de saturation qui est dont le tuyau bleu dans le bâtiment de production traversé vers des 11 chambres.



Photo09 : Le collecteur de l'eau produit.^[BWC]



Photo 10: Les chambres de l'eau produite.^[BWC]

Subséquentement la correction du pH se fait à l'aide d'une solution alcaline, dans notre cas, elle se fait par l'addition de calcite (CaCO_3).



photo11: La calcite.^[BWC]

Cette neutralisation a pour but d'éviter les problèmes liés au CO_2 dissous dans l'eau pour obtenir une eau ni agressive, ni incrustante, car elle présente de multiples inconvénients.

2.11 Poste chloration

Bien que les membranes d'osmose inverse retiennent tous les micro-organismes (bactéries, virus) ; il est nécessaire d'assurer un résiduel de désinfection pour éviter toute contamination et développement biologique.

Dans ce contexte, il existe de nombreuses méthodes de désinfections de l'eau, mais la plus utilisée est la chloration par l'utilisation d'une solution d'hypochlorite de sodium, pour raisons de sécurité à la sortie de l'installation.

L'eau produit sera acheminé vers deux bassin en fait de javel et le traitement sera terminé.



Photo 12 : Bâtiment d'eau produite.^[BWC]

Enfin, l'eau potable et prête à l'emploi et stock puis distribué dans le réseau d'alimentation à ADE Ain-Temouchent.

2.12 Les rejets de la station

Tous les rejets sont collectés dans ce bassin avant d'être rejeté à la mer via un canal souterrain de 1800 mm en PEHD à 500 m de la côte.



Photo 13 : Bassin de saumure.^[BWC]

Le système d'amortisseurs de chocs hydrauliques composé de deux citernes identiques



Photo14 : La citerne d'amortisseur les chocs.^[BWC]

3 La saumure

La principale caractéristique des eaux rejetées par les usines de dessalement est sa forte salinité. On la qualifie ainsi de saumure.

3.1 Définition

Est une solution aqueuse d'un sel, généralement de chlorure de sodium (sel de cuisine) NaCl, saturé ou de forte concentration .

Le mélange composé de la saumure d'une salinité élevée (60% de l'eau traitée) et de l'acide et base utilisé pour le nettoyage des membranes, et de la saumure utilisé pour nettoyage des filtres (sable et anthracites)et rejet dans les fonds marins .

La concentration en saumure varie de 50 à 75 g/L et a une densité beaucoup plus élevée que l'eau de mer. De ce fait, cette saumure tombe sur le sol sous-marin proche de la sortie de la conduite (effet panache) et forme une couche très salée engendrer des impacts négatifs sur la faune et la flore marine ainsi que sur d'éventuelles activités humaines .^[24]

4. Impact de la station de dessalement sur l'environnement

La construction d'une station de dessalement produit plusieurs impacts sur l'environnement, certains d'entre eux sont positifs et les autres sont négatifs :

a. Impacts positifs

- La disponibilité de l'eau de bonne qualité est préliminaire au développement économique et social des commutés locales.
- Le dessalement est une source fiable de l'eau qui n'est pas soumise aux changements climatiques liés aux sources d'eau douce.^[25]

b. Impacts négatif

- Destruction du fond marin et diminution de la biomasse planctonique et de la biodiversité marine.
- augmentation de la salinité et des taux des métaux lourds.
- Impacts ontogénique, cellulaire et sur la croissance, la reproduction et la survie des macrophytes .^[25]

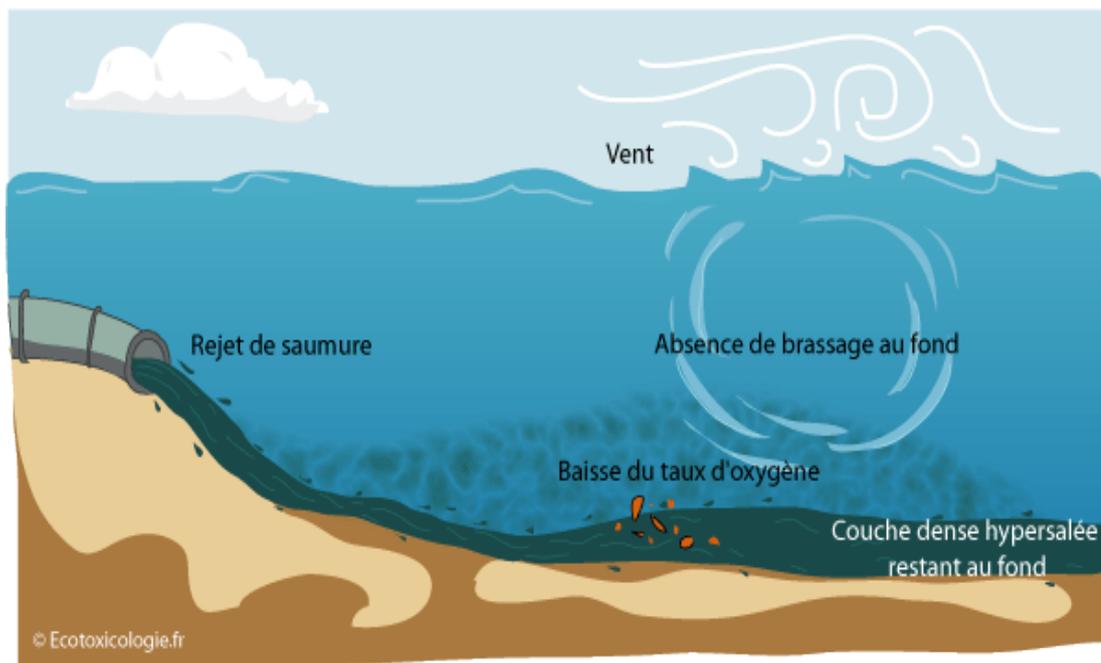


Figure 22 : impacts de saumures sur l'environnement.^[39]

Les caractéristiques principales de l'eau de mer et du rejet d'une station de dessalement BWC sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau07 : Résultats des analyses de l'eau d'entrée et la saumure de BWC

détermination	Eau d'entrée	Eau de saumure	unité	Valeur limite
T	18.6	20.2	C°	
PH	8.17	7.88	Ph	6.5-8.5
MES	1	0.23	Mg/l	35
Turbidité	0.69	0.4		
Conductivité	43.85	72.1	m.s	
DBO₅	16	18	Mg/l de O ₂	35
DCO	46	52	Mg/l de O ₂	120
Phosphore	2	5	Mg/l de P ₂ O ₂	10
Fluor	3	7	Mg/l	15
Fr	<0.1	1	Mg/l de Fr	3
Zn²⁺	<0.1	<0.1	Mg/l de Zn	3
Cu	<0.01	<0.01	Mg/l de Cu	0.5
Al²⁺	1	0.1	Mg/l	3.5
Cadmium	<0.1	<0.01	Mg/l	0.2
Cyanures	<0.01	<0.01	Mg/l	0.1
Mn²⁺	<0.1	0.5	Mg/l	1
Indice de phénols	<0.1	<0.01	Mg/l	0.3
Hydrocarbure	<0.1	0.4	Mg/l	10
Azote kjeldahl	5	10	Mg/l	30
Chrome	<0.01	<0.01	Mg/l	0.5
Salinité	3.7	7	%	

5. Impacts de la saumure sur l'environnement

Il est indiscutable que c'est la saumure qui exerce le plus fort impact sur le milieu marin. Le volume total de saumure libérée dans ce milieu est déterminant pour les dommages qu'il peut induire.

Un rejet de saumure concentrée en grandes quantités appelle un examen plus soigné des impacts potentiels sur l'environnement. [26]

La salinité accrue affecte les organismes marins par le processus d'osmose qui consiste en la diffusion d'eau pure à travers une membrane qui est perméable à l'eau mais non aux ions qui y sont dissous. Par conséquent, le contenu en sels diffère de part et d'autre de la membrane, l'eau pure diffusera à travers la membrane à partir du compartiment ayant une faible concentration des ions vers le compartiment ayant une concentration supérieure d'ions dissous. Quand des organismes marins sont exposés à une variation de la salinité (contenu en sels plus élevé dans le milieu externe que dans les fluides de l'organisme) ils sont soumis à un choc osmotique qui est préjudiciable pour la plupart d'entre eux en fonction de leur tolérance à la salinité. [26]

Tableau08 : résumé de prétraitement et pot-traitement au cours de la production d'eau potable.^[26]

Impact	Degré d'impact	Origine de l'impact	Techniques d'atténuation
Pollution thermique, réduction de l'oxygène dissous dans les eaux réceptrices. Effets nocifs pour les espèces thermorésistantes	M M	Saumure chaude	Mélange de la saumure avec de l'eau froide avant le rejet. Bassins de retenue
Salinité accrue Effets nocif pour les espèces résistantes aux sels	M	Saumure concentrée	Dilution de la saumure avant rejet Récupération de sels Bon choix de l'emplacement pour l'émissaire afin de permettre le maximum de brassage et de dispersion
Désinfectants	E	chlore et ses composés, réaction du chlore avec des composés organique hydrocarbures principalement	Utilisation d'autres désinfectants. Mesures de protection contre les pollutions au prélèvement de l'usine
Métaux lourds Toxicité	M	Corrosion du matériel de l'usine	Conception et choix judicieux du matériel de l'usine en recourant à des matériaux résistants à la corrosion
Produits chimiques : -Eutrophisation des eaux réceptrices -Toxicité - Hausse du PH	E F F	Adjonction d'agents anticorrosion et antitarte	Réduction au minimum de l'utilisation de produits chimiques Utilisation d'additifs sans danger pour l'environnement
Pollution atmosphérique : Plus acides Effet de serre Poussières	F M M	Utilisation de combustibles et activités d'élimination	Utilisation d'énergies propres et renouvelables autant que possible Application de système mixtes et de production couplée. purification des gaz avant émission dans l'atmosphère
Sédiments Turbidité et limitation de la photosynthèse Difficultés de respiration	M	Perturbation des sables par des activités	Réduction au minimum et contrôle des activités d'excavation et remblayage
Chez les animaux aquatiques	M	D'excavation et de dragage	Bonne maîtrise du ruissellement dans la zone du site
Bruit	F	Activités de construction pompes et autres appareils au cours de l'exploitation de l'usine	limitation des activités de construction aux seuls horaires de travail. Choix du matériel le moins bruyant

6. La valorisation des eaux de saumures

La principale caractéristique des eaux rejetées par les usines de dessalement est sa forte salinité. Il faut trouver une solution pour éviter cette augmentation de sel dans la mer par la valorisation de ces rejets.

On définit la valorisation comme étant la mise en valeur de quelque chose pour en tirer davantage de ressources. Cela constitue l'objectif de cette partie

Afin de diminuer l'impact environnemental des saumures et leur rejet en mer, il convient d'étudier des moyens de réduire la concentration en sels ou une valorisation de saumure. En général, la saumure des usines de dessalement est rejetée directement dans la mer ou associée aux rejets de l'eau de refroidissement des centrales ou aux effluents des stations d'épuration. D'autres techniques de la gestion de la saumure existent, à savoir :

- 1- La dilution avec un effluent de station d'épuration, avec l'eau de pluie, ou avec l'eau de mer ;
- 2- L'évaporation de la saumure (marais salants) ;
- 3- L'injection dans les puits profonds ;
- 4- La Production d'électricité par l'énergie osmotique ;
- 5- Le Rejet direct dans les milieux marins.

La saumure est un rejet du processus de dessalement .Elle se compose d'un cours d'eau avec une teneur élevée en sel .Dans le cas du dessalement de l'eau de mer par osmose inverse, la teneur en sel de saumure équivaut au double ou presque au triple par rapport à l'eau de mer Par contre, dans le cas du processus thermique, elle est approximativement de 10 % plus élevée que l'eau de mer .Ce rejet d'eau contient également des produits chimiques de nettoyage de membrane et d'autres utilisée contre l'entartrage et pour éviter la corrosion.^[35]

Exemple d'utilisations des saumures

- ✚ Production du sel de cuisine
- ✚ Conservation des aliments en les immergeant dans le liquide (saumurage), mais aussi pour la congélation des viandes et des poissons ou encore des glaces alimentaires.
- ✚ Dans le domaine routier, la saumure est utilisée pour faire fondre la glace ou la neige compactée.
- ✚ Dans les adoucisseurs d'eau, avec des résines échangeuses d'ions.

7. Conclusion

Le dessalement d'eau de mer apporte une solution rapide à la pénurie d'eau douce, mais apporte avec lui beaucoup d'un inconvénient tel que :

- ✚ Besoin énergétique important
- ✚ Utilisation des produits chimiques
- ✚ Rejets des saumures concentrées
- ✚ Traces de métaux lourds dans les rejets
- ✚ Aucune législation spécifique au rejet de saumure.

Le problème des rejets est un problème qu'il faut traiter en urgence vue la vitesse à laquelle le nombre d'installations de dessalement d'eau de mer en Algérie augmente en même temps que les rejets d'eau saumâtres.

Les paramètres évalués pour l'eau saumâtre rejetée en mer ont montré des valeurs très élevées par rapport à la norme ce qui influe négativement sur l'environnement marin. Les rejets de saumures fortement chargées ont pour conséquence la variation de la composition chimique de l'eau de mer qui altère l'équilibre des éco-systèmes et l'environnement marin. La diminution de la concentration en oxygène dissous a une conséquence sur la vie des espèces marines.

1. Introduction

L'économie algérienne repose généralement sur l'énergie fossile, afin de produire de l'énergie électrique, injecter les matières dans les zones de raffinage, de liquéfaction et de transport on utilise des machines appelées turbines, les plus importantes sont les turbines à gaz où son utilisation conduit à des émissions des gaz brûlés à des très hautes températures près de 500°C.

Dans le cadre de l'établissement de notre stage de fin d'étude, nous avons choisi de le faire dans la SKT (Terga- Ain Temouchent), dans ce dernier nous avons étudié l'électrochloration avec une unité de production d'eau de javel disponible dans le SKT.

Ensuite, l'électrolyse est le phénomène inverse du phénomène de la pile. Il s'agit d'un phénomène non spontané, forcé. Il faut, grâce à un apport d'énergie électrique extérieure, forcer la réaction chimique non spontanée. Lors d'un phénomène d'électrolyse, de l'énergie électrique est transformée en énergie chimique. C'est une réaction qui fait intervenir des électrons

En fin ; La spectroscopie UV-Visible permet d'accéder qualitativement à des renseignements quant à la nature des liaisons présentes au sein de l'échantillon mais également de déterminer quantitativement la concentration d'espèces absorbant dans ce domaine spectral. Non destructive et rapide, cette spectroscopie est largement répandue en travaux pratiques de chimie ainsi qu'en analyse chimique ou biochimique.

2. Présentation de la SKT

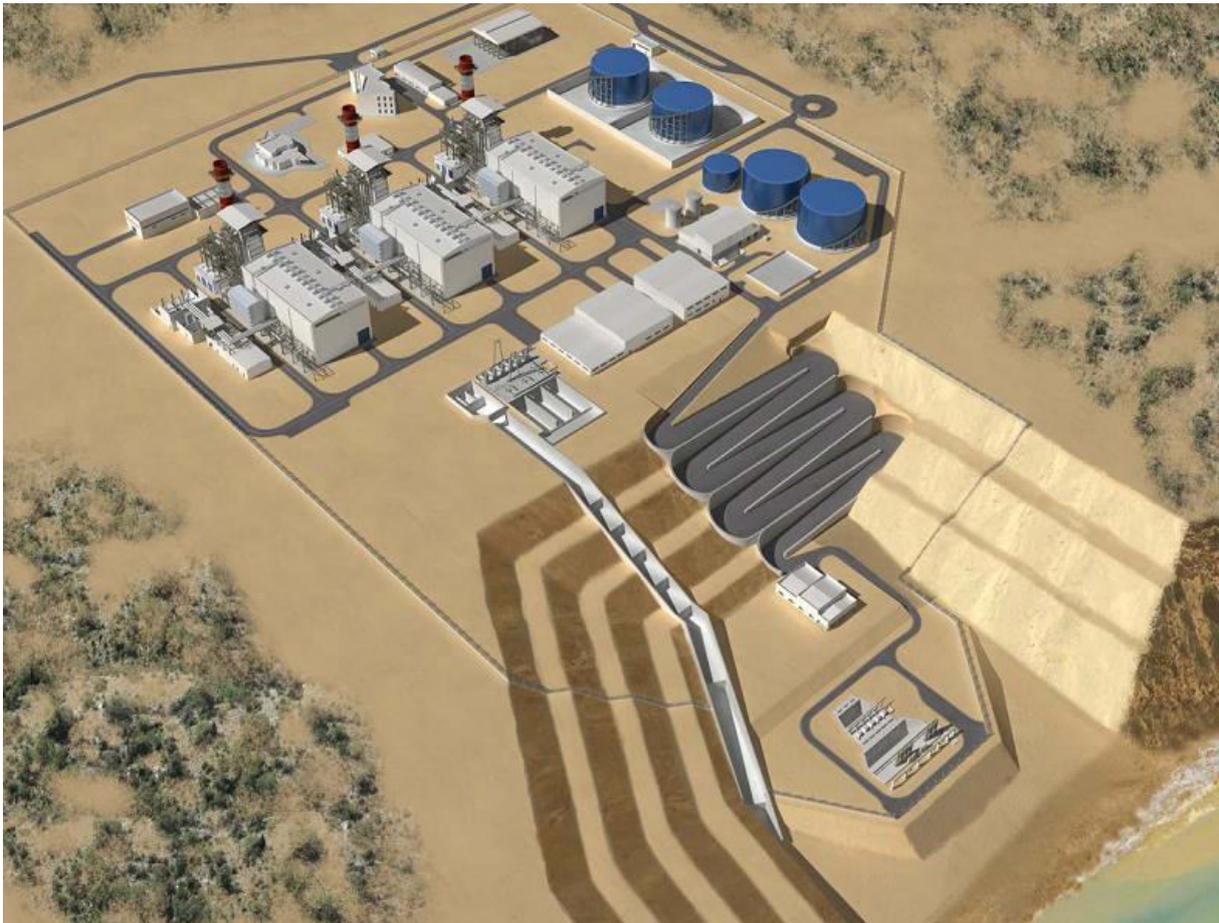


Figure 23 : SHARIKET KAHRABA TERGA. [SKT]

La Centrale de Terga est une unité de production de l'énergie électrique, elle est constituée de trois unités (ALSTOM) et sa production globale est de 1200MW. La centrale électrique à cycle combiné est composée de 03 groupes GT26 et de turbine à vapeur d'une puissance de 400MW chacun.

2.1 Définition

- SHARIKET KAHRABA TERGA Spa (Central à cycle combiné de TERGA $3 \times 400\text{MW}$);
- Combustible : Gaz naturel et fioul.
- Réfrigération : Eau de mer.
- Application : Production d'électricité
- Elle été réalisée par un consortium dirigé par Alstom et comprenant la société Egyptienne, Orascom Construction Industries pour le génie civil et la construction.

2.2 Site

La centrale électrique SKT est située dans l'Ouest de l'Algérie, à 25 km à Ain T'émouchent, cette centrale électrique est la première centrale à cycle combiné KA26 en Algérie et en Afrique.

2.3 Le rôle de centrale

- Le rôle principale de cette centrale est de produire de l'énergie électrique à partir de la combustion du gaz naturel , elle est chargée dans cadre national alimenter avec d'autres centrales en parallèles un réseau interconnecté qui part de l'est à l'ouest en passant par le centre , l'exploitation de ce réseau est assuré par le dispatching , situé au niveau D'ALGER la charge avec une fréquence de 50HZ .

- La centrale de TERGA participe dans ce réseau avec une puissance de (1200MW), en exploitant (3GROUPES).

- La centrale électrique à cycle combiné « 3 x 400 MW-KA26-1 SS » se compose de trois unités mono-arbre.

Tableau 09 : Signification de (3 x 400 MW-KA26-1 SS).^[SKT]

Signe	Signification
3	Nombre des unités.
400 Mw	La puissance.
KA	Kombi Anlage =combined cycle power plant .
26	Type de la turbine à gaz .
1	Une TG+un récupérateur de chaleur (HRSG)+TV
SS	MONO-ARBRE (single shaft).

2.4 Alimentation de la centrale

L'alimentation de la centrale se fait en trois parties : en gaz, en électricité et en eau de mer.

- ❖ En gaz :

Méthane CH₄ ramenée de HASSIRMEL transitant par différents de pompage jusqu'à Med gaz ensuite va alimenter la centrale.

- ❖ En électricité :

Auto alimenté, elle prend son énergie de ces groupes, si ces derniers sont à l'arrêt, la centrale reçoit son besoin d'énergie du réseau par l'intermédiaire de ces transformateurs principaux.

- ❖ Alimentation en eau de mer :

Eau de mer par un poste de traitement d'eau produit une eau dessalée, ensuite par un poste de déminéralisation.

2.5 Cycle combinée mono-arbre(ou single shaft)KA26-1

La turbine à gaz comprime l'air ambiant qui s'enflamme en présence de gaz naturel pressurisé. Dès que le mélange combustible/air se consume, les gaz chauds se détendent à travers une turbine, laquelle est reliée à un alternateur pour la production d'électricité. L'échappement de la turbine est relié au chaudière de récupération HRSG pour la fabrication de vapeur. La vapeur est envoyée à un groupe turboalternateur pour accroître la production d'électricité.

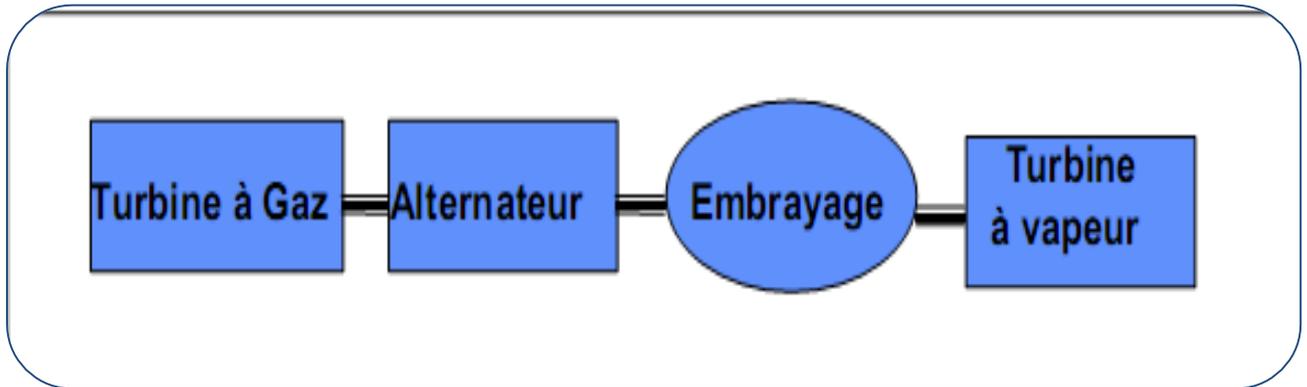


Figure 24 : VUE GENERALE DES COMPOSANTS ET SYSTEMES MAJEURS.^[SKT]

2.5.1 Turbine à gaz

La turbine à gaz de type GT26 d'Alstom comprend un rotor constitué d'un étage turbine « haute pression », de 4 étages turbine « basse pression », de 22 étages compresseur, et deux chambres de combustion annulaires (les brûleurs EV et SEV), appliquant le principe de combustion séquentielle. L'étage HP se trouve en aval des brûleurs EV et en amont des brûleurs SEV. L'air en entrée de la TG est filtré dans le bloc de prise d'air.

Le rotor est couplé de façon rigide à l'arbre de l'alternateur.

Le débit d'air à travers la turbine à gaz est régulé par la position angulaire de trois aubes mobile d'admission (AMA), placées devant les trois premiers rangs d'ailettes du compresseur.

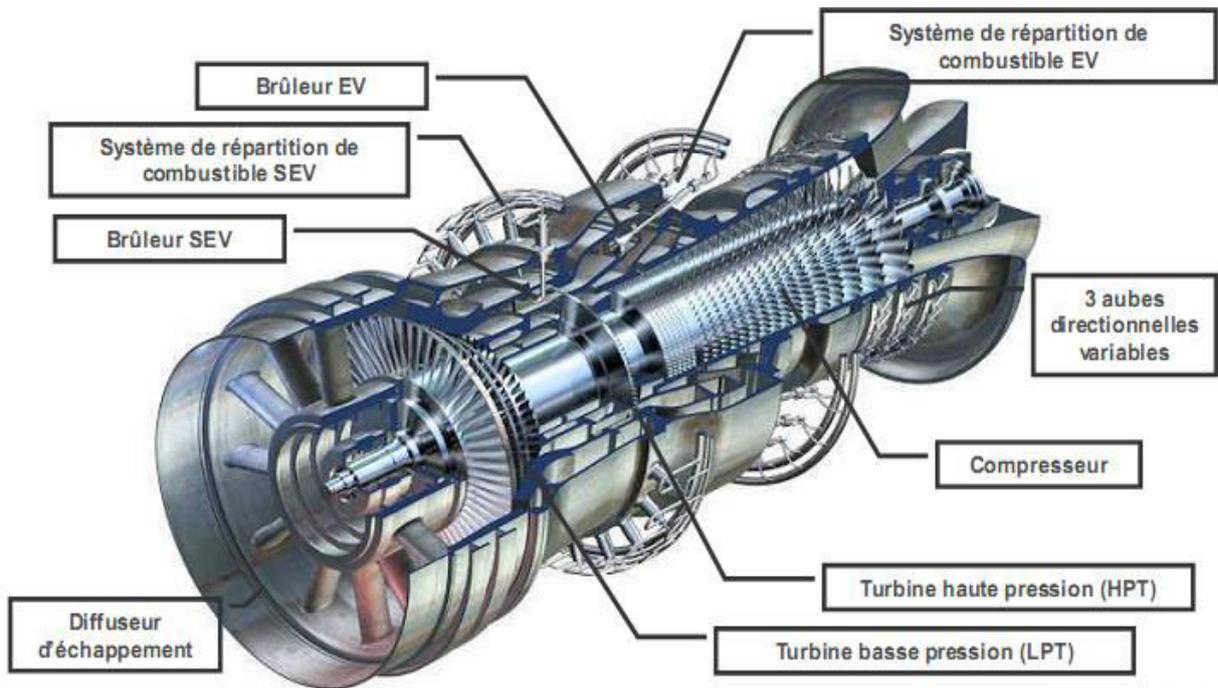


Figure25 : turbine à gaz GT26.^[SKT]

A charge partielle (au-dessus de 60 % de charge TG environ), le contrôleur TG garde la température du gaz d'échappement constante à son maximum afin d'obtenir un rendement maximum du cycle combiné. La température d'entrée de la turbine (TET) est ajustée par le contrôle de l'injection du combustible et les AMA. Pour assurer le refroidissement et l'étanchéité de la TG, de l'air est soutiré du compresseur à différents étages. Deux de ces extractions d'air sont partiellement refroidies à l'extérieur de la TG, l'air BP sert à refroidir les brûleurs SEV, les premiers étages de la turbine BP et son rotor, l'air HP sert principalement à refroidir la turbine HP et son rotor. Les échangeurs pour refroidir l'air HP et BP refroidir la turbine HP et son rotor. Les échangeurs pour refroidir l'air HP et BP sont alimenté par les circuits d'eau alimentaire, cette eau est vaporisée à travers ces échangeurs (OTC pour one through cooler) et est ensuite réinjecter dans les circuits vapeur.

2.5.2 Alternateur

L'alternateur Alstom (type 50WT21H-120) est entraîné à la fois par la turbine à gaz et par la turbine à vapeur. La puissance est produite à une tension de 20kV. L'alternateur, à trois phases et deux pôles synchrones, est refroidi à l'hydrogène. L'hydrogène est ensuite refroidi dans des échangeurs à eau se trouvant dans l'enceinte de l'alternateur. La chaleur issue de ces échangeurs est transférée à l'eau de refroidissement (Circuit fermé d'eau de refroidissement), qui est ensuite refroidi par le circuit (Circuit fermé d'eau de refroidissement), qui est ensuite refroidi par le circuit principal d'eau de refroidissement. L'hydrogène de refroidissement est stocké dans des bouteilles. L'étanchéité de l'hydrogène vis à vis de l'atmosphère est assurée par une unité d'huile d'étanchéité. Le rotor alternateur est accouplé rigidement à l'embrayage. L'alternateur est utilisé comme un moteur synchrone de démarrage alimenté par un convertisseur statique de fréquence. L'énergie de démarrage est fournie par le réseau Haute Tension, à travers le transformateur élévateur.

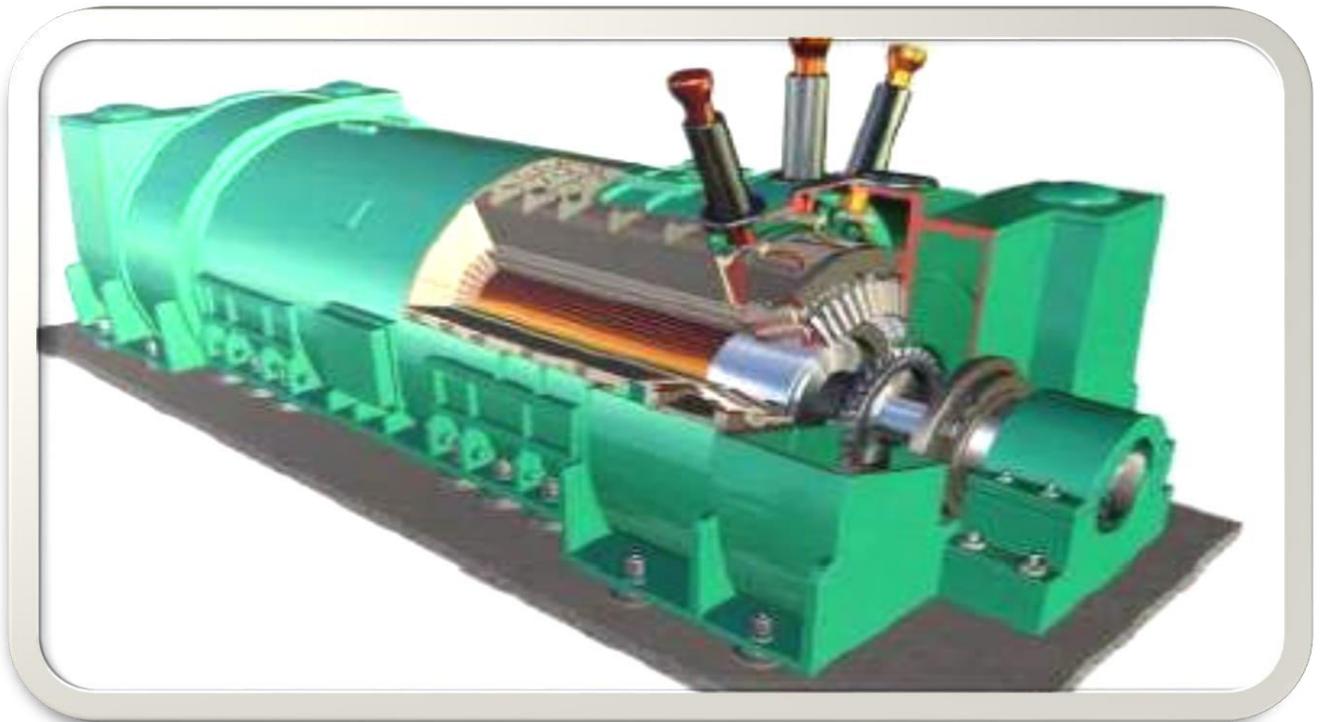


Figure 26 : Alternateur. [SKT]

2.5.3 Turbine à vapeur

La Turbine à vapeur Alstom, de type DKYZZ2-1N41BA, possède deux corps, trois pressions, et une resurchauffe. Le premier corps est l'étage haute pression (HP) et le deuxième corps de la turbine se compose des étages moyenne pression (MP) et basse pression (BP). Le corps MP/BP est à double flux. Les deux rotor des corps HP et MP/BP sont liés entre eux par un accouplement rigide. Le rotor HP est également lié à l'embrayage par un accouplement rigide. La vapeur est admise dans les corps HP et MP au travers des organes d'admission incluant les vannes d'arrêt et de contrôle. L'admission HP est réalisée par un bâti dans lequel les vannes sont montées en série, et l'admission MP utilise deux bâtis où les vannes d'arrêt et les vannes de contrôle sont entièrement intégrées dans le même corps sphérique bridé au corps externe MP. La vapeur vive HP, régulée par une vanne d'arrêt et une vanne de contrôle, entre dans le corps HP et se détend jusqu'à la pression de la vapeur à resurchauffer. La vapeur à resurchauffer est mélangée avec la vapeur MP produite par la chaudière de récupération avant d'être resurchauffée dans la chaudière de récupération. La vapeur BP entre dans la turbine à travers une vanne d'arrêt et une vanne de contrôle. La vapeur issue du corps échappement BP de la turbine est envoyée au condenseur.

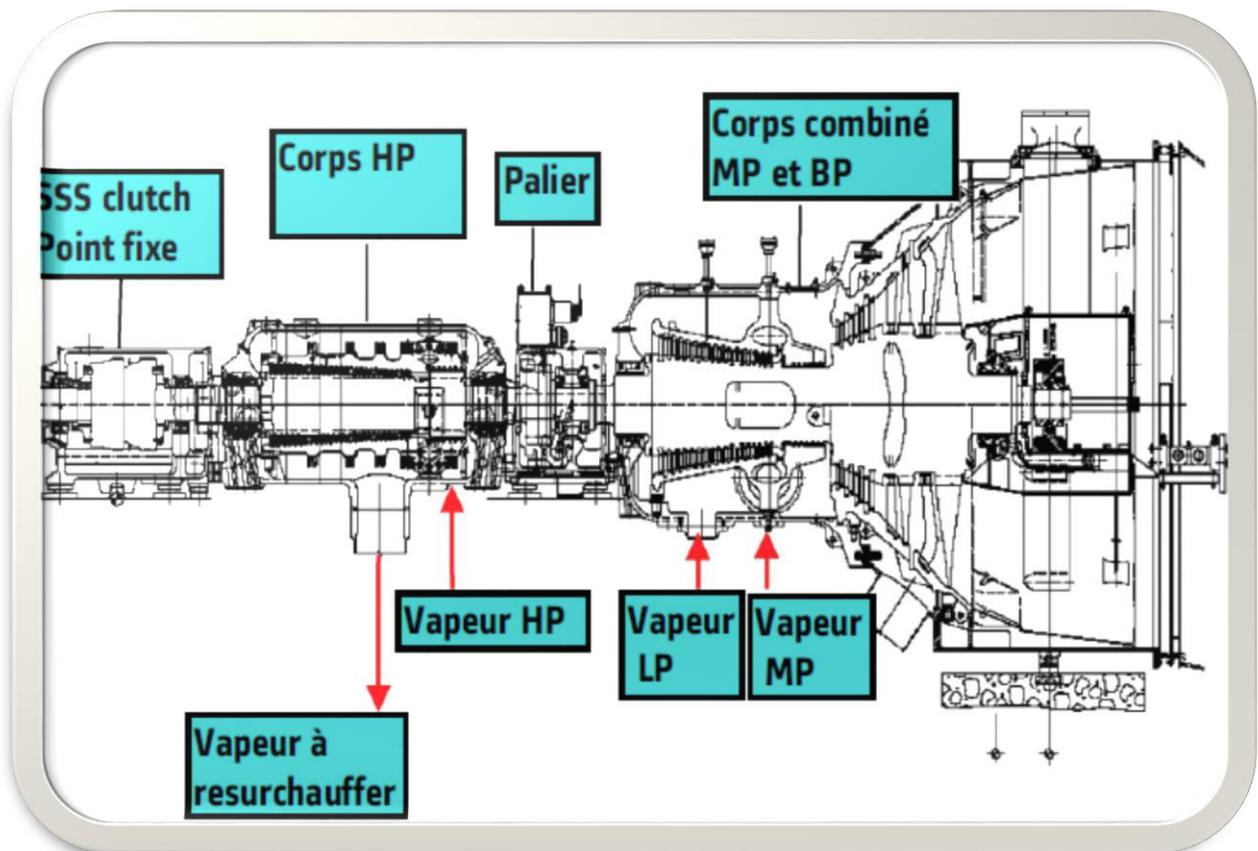


Figure 27 : turbine à vapeur.^[SKT]

2.5.4 Chaudière de récupération HRSG

Chaudière de récupération La chaudière de récupération est de design horizontal. Elle fonctionne en mode de circulation naturelle pour les trois niveaux de pression BP, MP, et HP. La chaleur, contenue dans les gaz d'échappement de la turbine à gaz, sert de source de chaleur pour produire la vapeur (vapeur réchauffée, vapeur surchauffée HP, MP, et BP) Les pompes alimentaires HP/MP alimentent la chaudière de récupération. L'eau alimentaire BP est extraite en aval du deuxième rang économiseur MP/BP. L'eau alimentaire HP, MP et BP est réchauffée dans les économiseurs et stockée dans les ballons respectifs (HP, MP et BP). Chaque niveau de ballon est régulé par une vanne de contrôle.

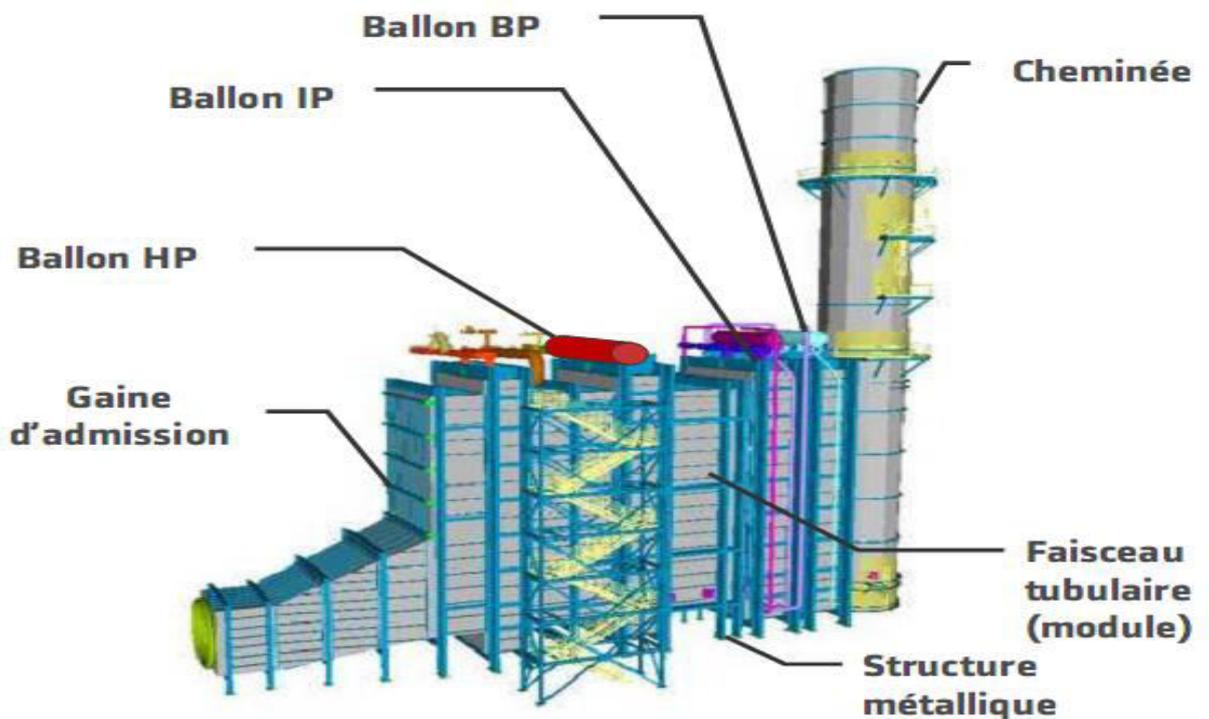


Figure 28 : chaudière de récupération.^[SKT]

La vapeur saturée est produite dans les évaporateurs HP, MP, et BP. La vapeur HP provient du surchauffeur à plusieurs étages HP, la vapeur MP du resurchauffeur, via le surchauffeur MP, la vapeur BP est également surchauffée. En sortie de la chaudière de récupération, les vapeurs HP et MP sont désurchauffées avec l'eau alimentaire extraite des économiseurs HP et MP respectivement. De l'eau extraite de l'économiseur HP alimente les réfrigérants d'air TG. Il est possible de réguler la température de l'eau alimentaire en amont des réfrigérants, dans une certaine plage, grâce à une extraction en amont du premier économiseur HP si nécessaire (une vanne manuelle de contrôle ajustée durant la mise en service est prévue à cet effet). Une extraction en aval de l'économiseur MP alimente en eau un pré-chauffeur de gaz combustible afin d'augmenter sa température à l'entrée de la TG

d'environ 15°C à 150°C, ceci afin d'améliorer afin d'augmenter sa température à d'entrée de la TG d'environ 15°C à 150°C, ceci afin d'améliorer le rendement global du cycle combiné. L'eau sortant du pré-chauffeur de gaz est renvoyée à la bache alimentaire. Le ballon de purges chaudière recueille les purges de la chaudière de récupération et des réfrigérants d'air TG. Le ballon de reprise des purges externes recueille les purges de la vapeur à resurchauffer, la vapeur surchauffée et la vapeur resurchauffée. Les purges continues des ballons HP, MP et BP sont amené au ballon d'éclatement chaudière. Après séparation, la vapeur va à la bache alimentaire et les condensats sont envoyés au ballon de purges chaudière mentionnés ci-dessus.

2.5.5 Condenseur

L'installation est de design axial refroidi à l'eau de mer. Le condenseur est constitué de deux faisceaux double passe. Afin d'opérer le condenseur avec un seul demi condenseur, les boîtes à eau sont divisées. Du fait de l'augmentation de la pression à l'échappement de la TV, la puissance produite est dans ce cas réduite. Les gaz incondensables côté vapeur sont extraits de chaque faisceau de tube à l'endroit le plus froid, la pression partielle de vapeur y est plus basse. La vapeur condensée est envoyée dans le puits du condenseur, qui sert ainsi de capacité de stockage. Le ballon d'éclatement des purges est raccordé au condenseur et recueille les purges internes de la turbine à vapeur. La phase vapeur est renvoyée aux purges internes de la turbine à vapeur. La phase vapeur est renvoyée au condenseur et les condensats sont renvoyés au puits du condenseur

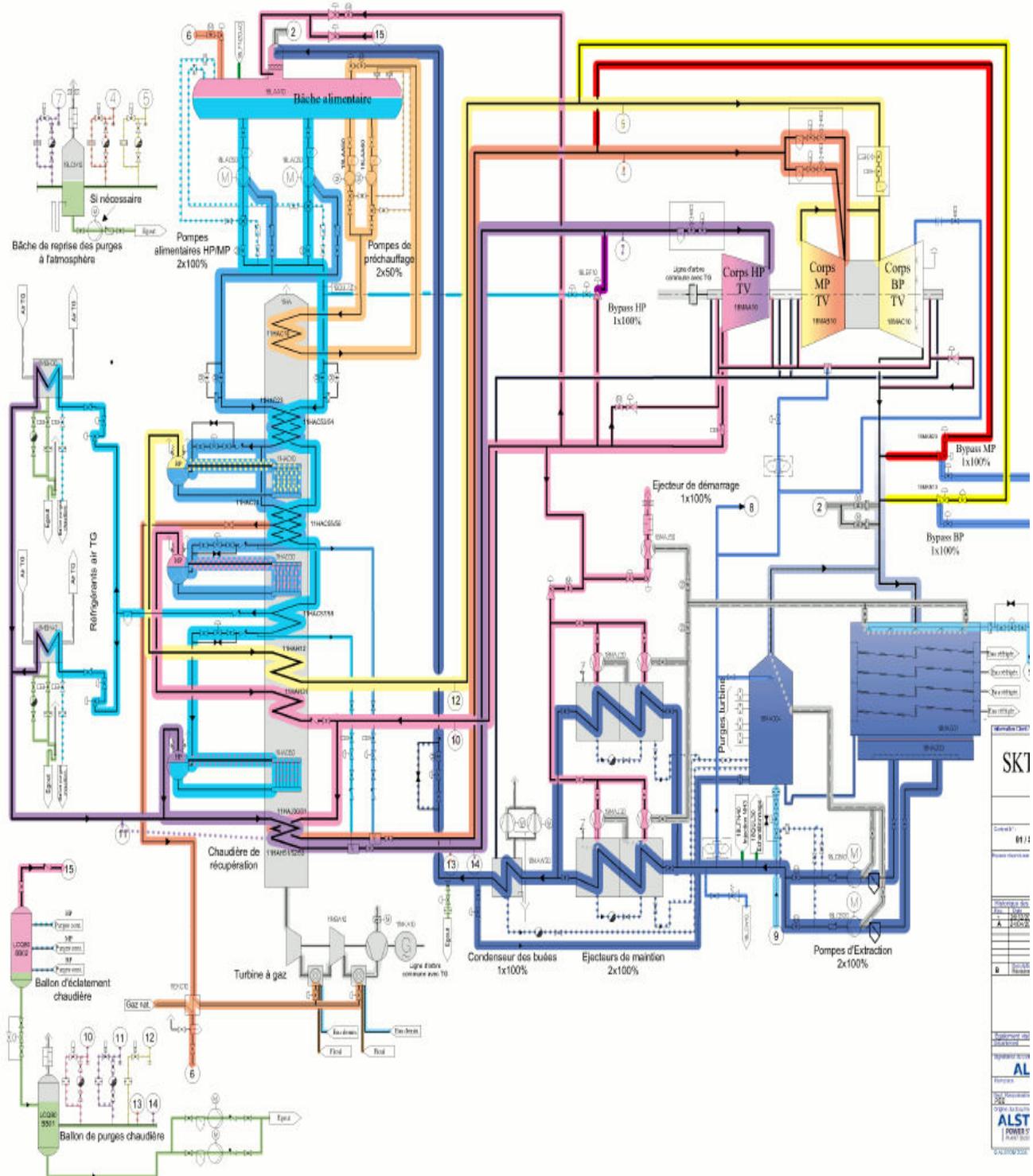


Figure 29 : Cycle eau/vapeur.[SKT]

2.6 Station de pompage E02

Le système se compose de la tuyauterie d'amenée de L'eau de mer : 5pipe il ya un autre bassin de filtration avec 6 dérailleurs et 6 filtre rotatif pour éliminer toutes les impuretés après ca il ya 06 pompes de transfert vers le bassin de tranquillisation le système se compose aussi des pompes de dilution pour refroidir le rejet a une température de 25.

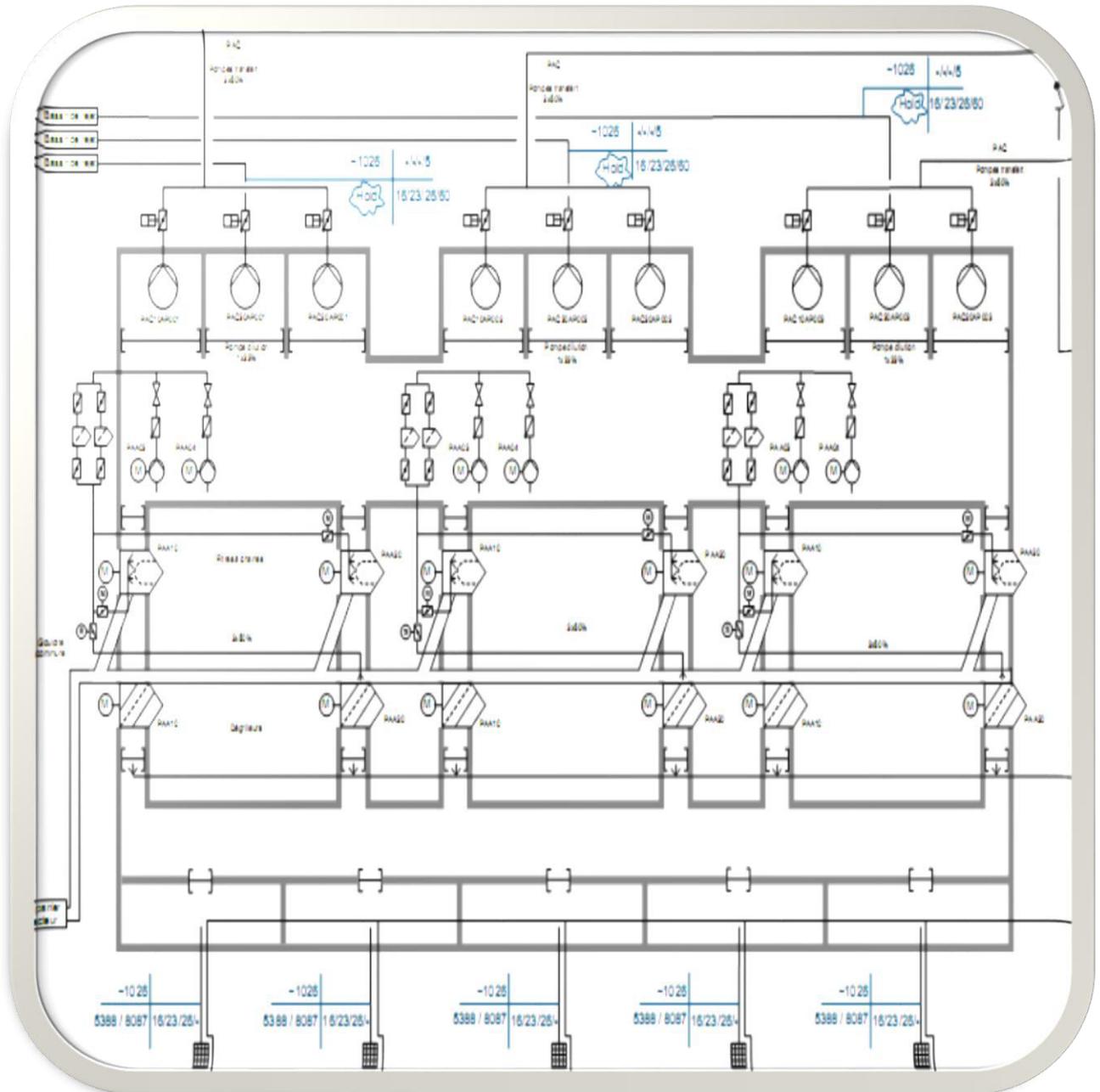


Figure 30 : station de pompage.[SKT]

2.7 Station de pompage E04

Cette station tout se compose 6 pompes de refroidissement du condenseur.

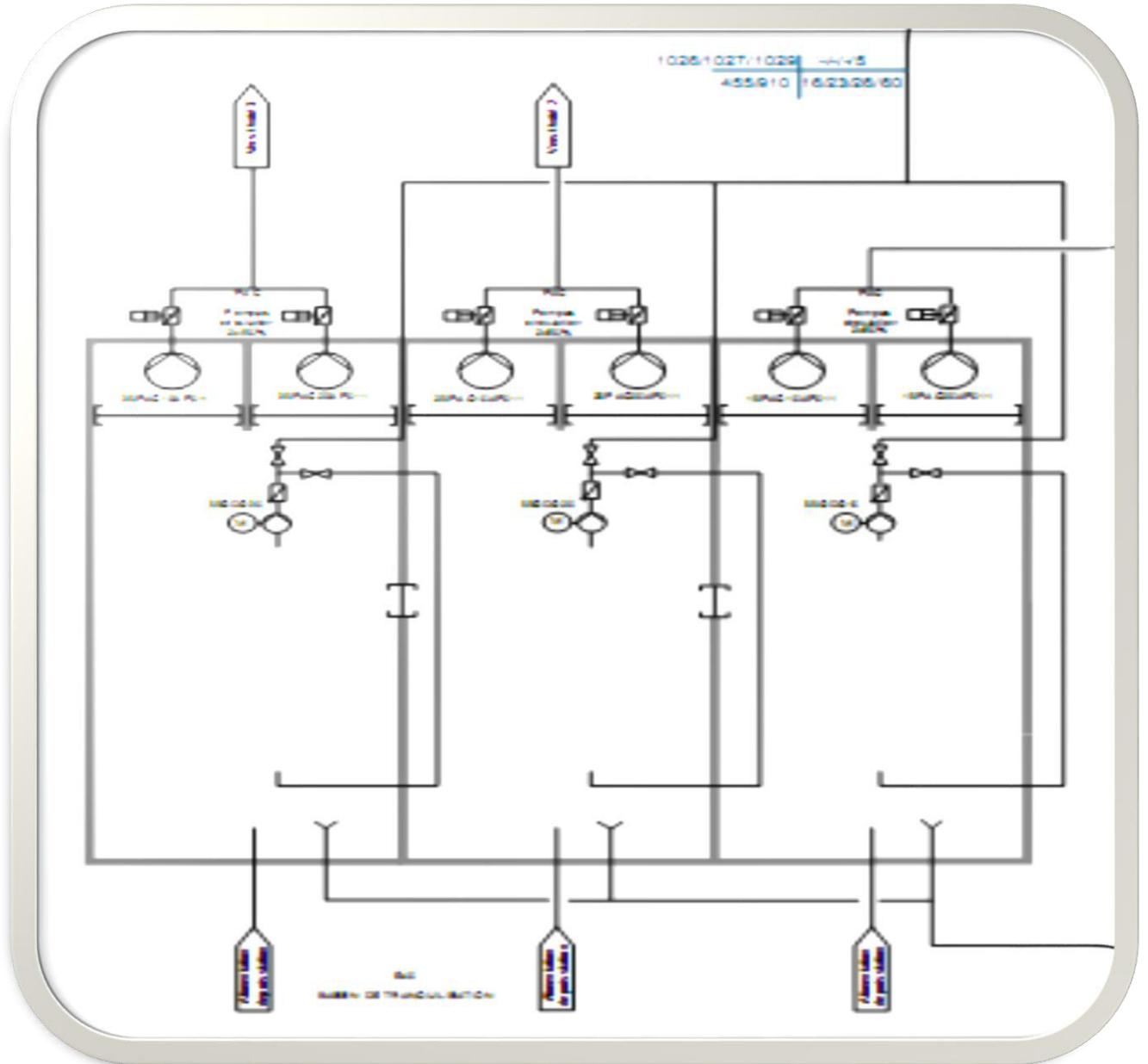


Figure 31 : station de pompage E04. [SKT]

2.8 Electrochloration

La production sur site d'une solution d'hypochlorite de sodium à partir d'eau de mer est réalisée par un processus électrochimique produisant une électrolyse partielle du chlorure de sodium contenu dans l'eau de mer.

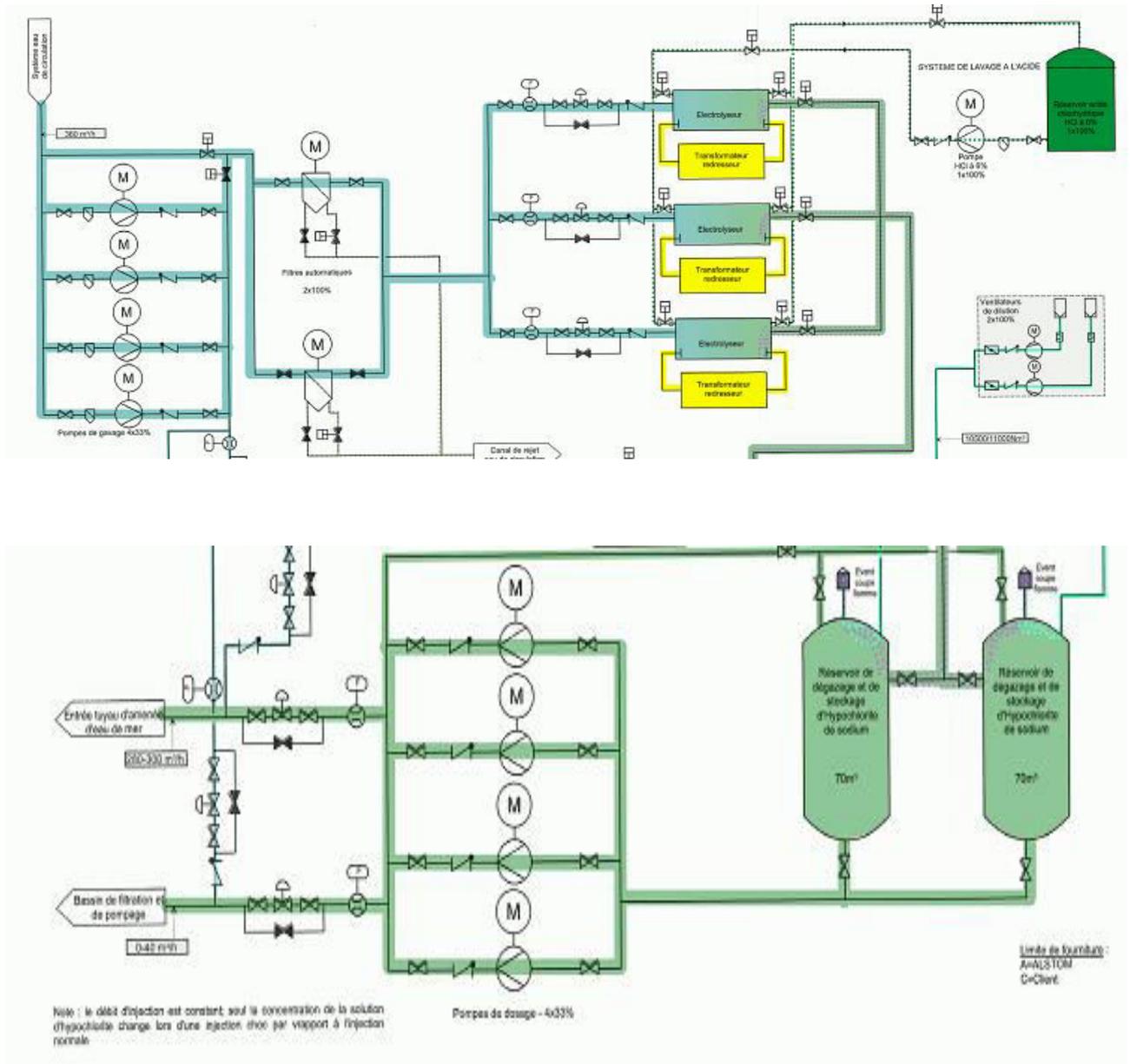


Figure 32 : station électrochloration. [SKT]

2.9 Station de dessalement 'Principe de désalinisation flash'

Le principe sur lequel une usine de désalinisation flash fonctionne est basé sur le fait que la température à laquelle le liquide atteint son point d'ébullition dépend strictement des conditions de pression du liquide lui-même. Lorsqu'un liquide (dans ce cas particulier de la saumure) est introduit dans une chambre où la pression est telle que le point d'ébullition est inférieur à la température du liquide qui arrive (c'est-à-dire que la température de saturation correspondant à cette pression est plus basse que la température d'admission du liquide), il commence à bouillir et de la vapeur est engendrée.

Cette évaporation sans fourniture de chaleur directe est connue sous le nom de "flashing". La vapeur ainsi produite est en théorie exempte de substances qui pourraient être en suspension ou dissoutes dans le liquide. En condensant cette vapeur, on obtient de l'eau pure. Le procédé ci-dessus peut être répété en faisant s'écouler le liquide au travers d'un certain nombre de chambres flash (appelés étages), chacune maintenue à des conditions de température et de pression légèrement plus basses que dans la chambre précédente. Une vaporisation importante du liquide peut être ainsi obtenue en mettant ensemble un certain nombre d'étages, en disposant d'un système de vide approprié et de joints hydrauliques qui permettent un écoulement continu du liquide d'un étage à l'autre et en même temps assurent une différence de pression entre les étages successifs.

Comme l'opération ci-dessus s'effectue à des pressions inférieures à la pression atmosphérique, on a l'avantage avec ce système d'utiliser de la chaleur de basse qualité et d'avoir un flash continu même à basses températures. Un système qui utilise ce principe, avec plusieurs étages flash en série, constitue un type d'usine de Désalinisation Flash Multi-Etages (MSF)



Photo15 : unité de station de dessalement.^[SKT]



Photo 16 : chambre flash de dessalement.^[SKT]

2.10 Unité déminéralisation

L'eau déminéralisée est produite par passage de lit mélangé qui remplit avec de mélange de résine cationique forte et résine anionique forte, déminéralisée (2 x 100 %) dimensionnée pour la purge en continue. La centrale de déminéralisation comprend une station de pompage complète pour l'alimentation de la station de déminéralisation, équipée de 2 pompe d'eau dessalée, chaque des pompe pouvant alimenter les 2 chaîne de déminéralisation, les deux pompe peuvent fonctionner en parallèle une ensemble complète de 2 lit mélangés échangeur d'ions tout équipés avec résines avec possibilité de faire fonctionner les deux chaîne en parallèle une station pompage complète pour la régénération des résines équipe (2 x 100 %) pompe de régénération une station de soufflage à l'air complète équipe (2 x 100 %) suppresseur d'air une station de soufflage à l'air complète équipe (2 x 100 %) suppresseur d'air un réservoir complet de stockage d'acide H_2SO_4 équipe de (2 x 100 %) pompe doseuse pour le régénération de résine et (2 x 100 %) pompe pour la station de neutralisation un réservoir complet de stockage de soude caustique NaOH 33% avec sa cuve de rétention plastique une station de pompage complète pour évacuation des rejets neutralisé équipée de (2 x 100 %) pompe de neutralisation et ses accessoire instrumentation complète contrôle et régulation.

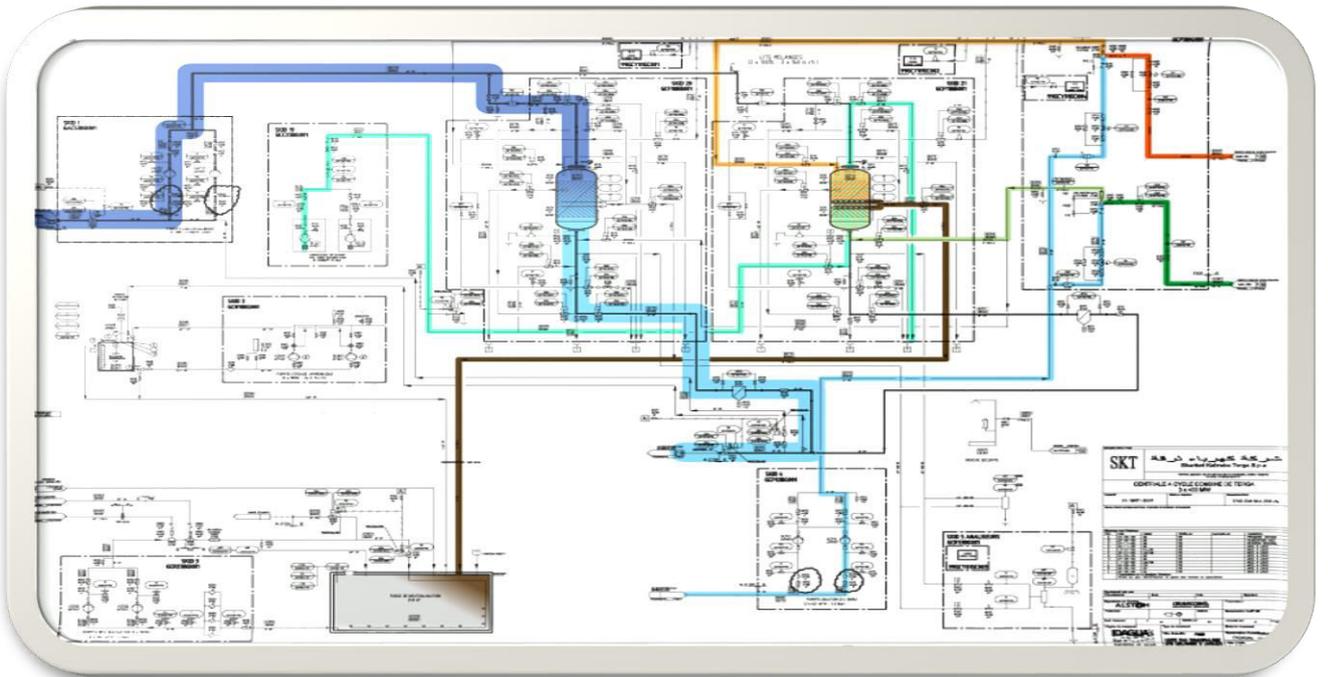


Figure 33 : unité déminéralisation. [SKT]

2.11 Les autres auxiliaires de la centrale

✚ Conditionnement chimique

Assurer une qualité chimique correcte du cycle eau / vapeur afin d'empêcher la corrosion des matériaux de construction et de minimiser les dépôts chimiques sur les surfaces d'échange de la chaudière de récupération.

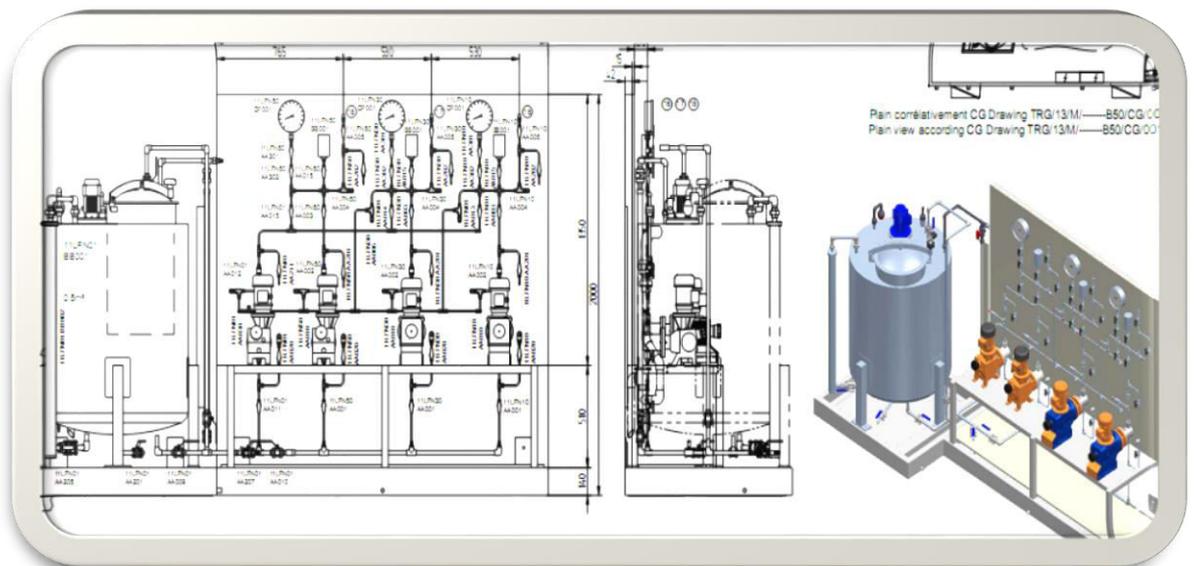


Figure 34 :Une unité d'injection de phosphate. [SKT]

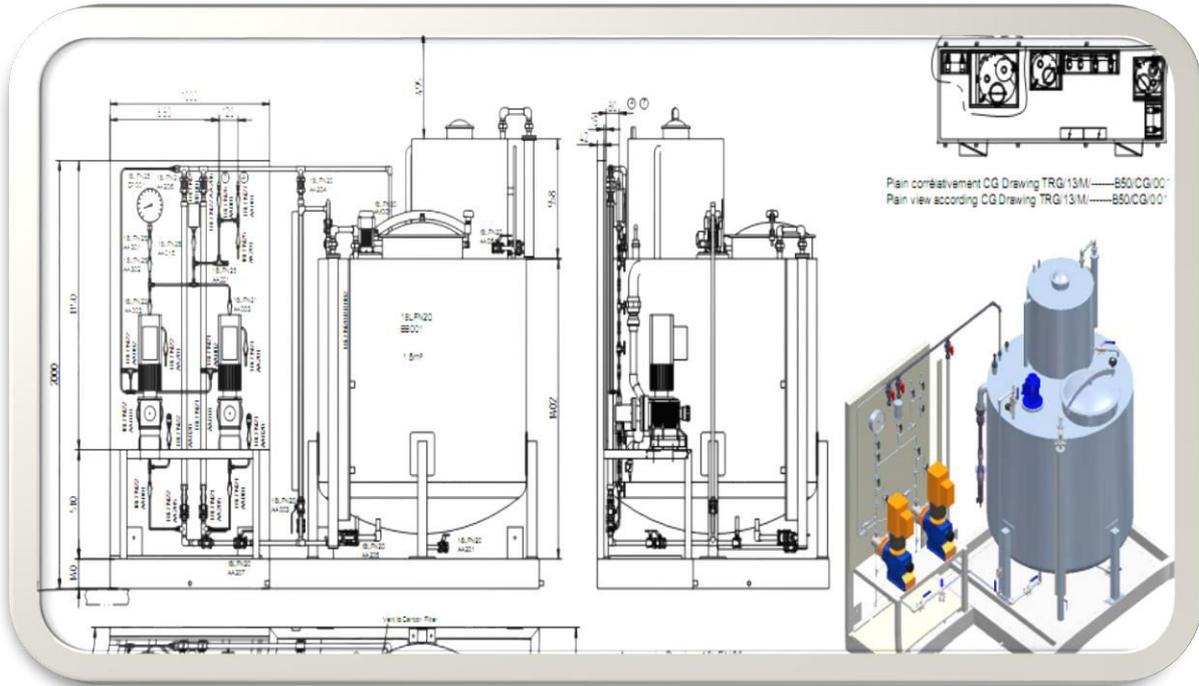


Figure 35 : Une unité d'injection d'ammoniac. [SKT]



Photo 17 : Le poste échantillonnage sampling. [SKT]

✚ Les analyses de laboratoires

Certaines analyses ne sont pas couvertes par les analyseurs automatiques. Les analyses listées ci dessous peuvent être effectuées à titre de contrôle ponctuel dans le laboratoire sur site ou par un laboratoire extérieur compétent si nécessaire sur des échantillons manuels convenablement conditionnés.

Lors de fonctionnement en mode anormal, tel que les redémarrages, ou une eau alimentaire contaminée, la fréquence des analyses doit être augmentée.

De plus, lorsqu'un analyseur en ligne est hors service, il faut remplacer son contrôle par un contrôle manuel fréquent.

Toutes valeurs incohérentes relevées sur les analyseurs automatiques doivent faire l'objet d'investigation pour en déterminer la cause.



Photo 18 : Le laboratoire des analyses chimiques.^[SKT]

3. Electrolyse

3.1 Définition et principe

L'électrolyse est un processus d'échange, au cours duquel l'énergie électrique est transformée en énergie chimique. La réaction a lieu dans une solution d'eau salée l'électrolyte les ions doivent pouvoir circuler librement dans l'eau pour passer d'une électrode à l'autre. Les deux électrodes sont reliées par l'électrolyte et par un générateur de courant électrique.^[29]

Si l'on applique un courant électrique entre les deux électrodes les ions positifs migrent jusqu'à la cathode pendant que les ions négatifs migrent jusqu'à l'anode pendant que les ions positifs sont appelés cations, alors que les ions négatifs sont eux appelés anions. Les cations sont capables, en raison de leur valence de capter des électrons. Lors du contact entre les cations et cathode. Ces derniers redevient un élément stable en perdant des électrons. Les anions réagissent de manière opposée en cas de contact avec l'anode. Ils vont céder leurs électrons.^[29]

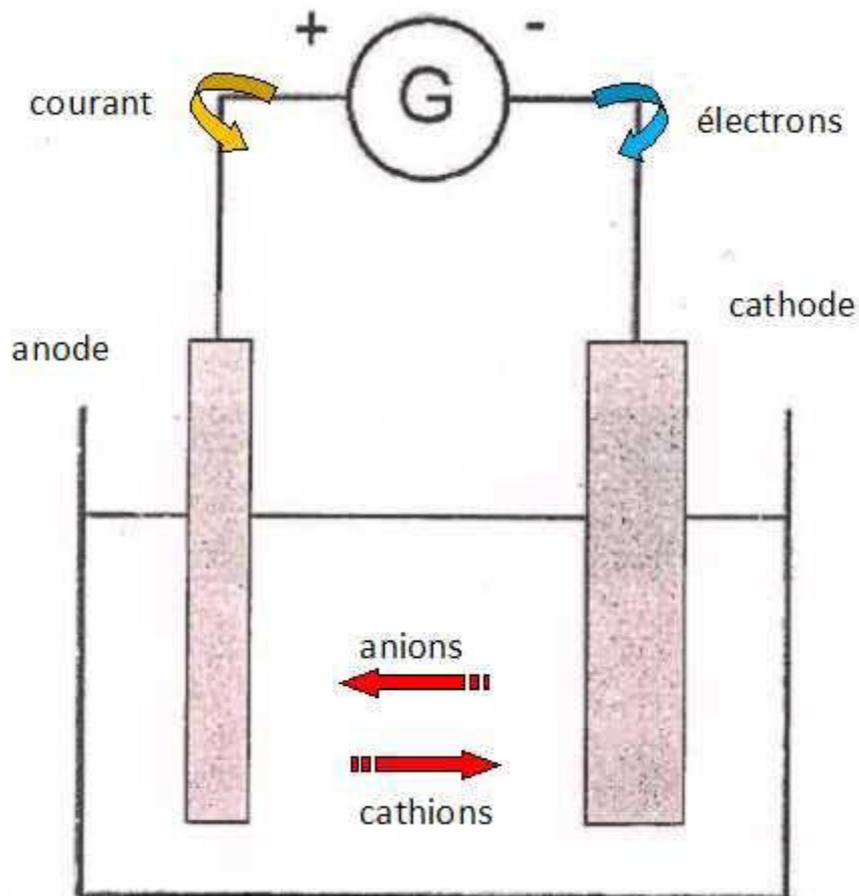


Figure 36 : principe électrolyse.^[40]

4. Les lois qualitatives de l'électrolyse

Au sein bain électrolytique, les ions se déplacent mais conservent leur individualité ; il n'y a de réactions chimiques qu'au contact des électrodes, là où se fait le passage de la conduction ionique à la conduction électronique ou réciproquement. [28]

Ce mécanisme justifie aisément les lois qualitatives de l'électrolyse.

La première énonce le fait que nous venons d'affirmer :

a) **Première loi - les produits de l'électrolyse apparaissent au voisinage des électrodes.**

b) **Seconde loi – la réaction chimique qui a lieu à l'anode libère des électrons : c'est une oxydation.**

La réaction chimique qui a lieu à la cathode consomme des électrons : c'est une réduction.

Dans un circuit formé de fils métalliques est parcouru par un courant, les électrons circulent ; ils se remplacent les uns les autres, mais ne s'accumulent nulle part ; aucun point du circuit ne s'appauvrit en électrons. c'est ce qui explique la troisième loi :

c) **Troisième loi- l'oxydation anodique libère exactement autant d'électrons qu'en consomme la réduction cathodique.**

Cette troisième loi établit une liaison entre la réaction anodique et la réaction cathodique. Comme nous allons le voir, c'est elle qui explique que l'électrolyse d'une solution de soude, ou d'acide sulfurique, se ramène à une décomposition de l'eau. [28]

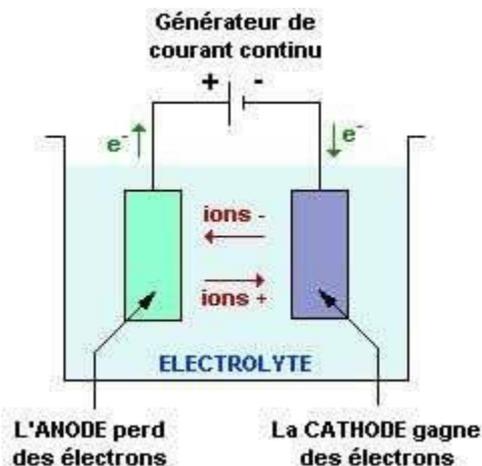


Figure 37 : électrolyse.[41]

Dans notre projet de fin d'étude on cherche une solution pour valoriser les saumures de la station de dessalement pour éviter l'impact d'environnement.

D'après le stage au SKT (SHARIKET KAHRABA TERGA) nous avons pris une idée de l'électro chloration.

5. Principe électrochloration

Le principe de l'électro chloration fait appel aux lois classiques de l'électrolyse de solutions salines diluées. En effet, lorsqu'on fait passer un courant continu aux deux bornes des électrodes plongées dans une solution salée (eau de mer), on observe une réaction chimique au niveau de chaque électrode. [27]

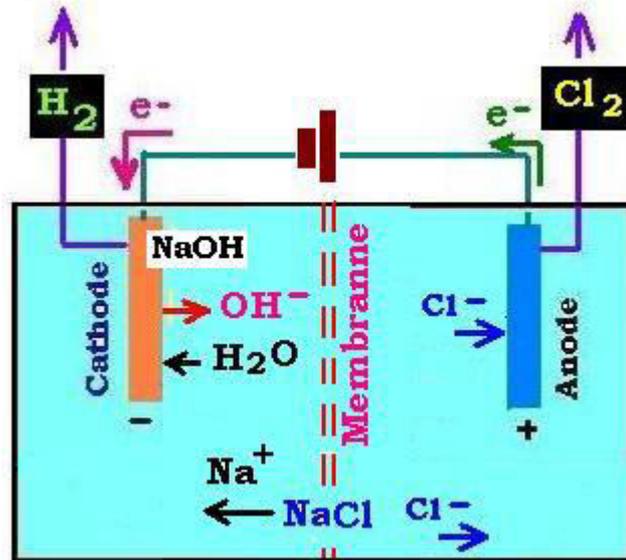


Figure 38 : principe électro chloration. [42]

Production d'hypochlorite à partir d'eau de mer La production d'hypochlorite de sodium (chlore disponible) est basée sur le passage de courant continu à travers une solution aqueuse de chlorure de sodium (NaCl), qui est totalement dissocié en ions Na⁺ et Cl⁻ les réactions chimiques et électrochimiques suivantes se produisent :

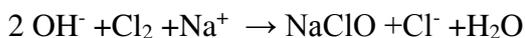
- a) Le chlore est produit sur l'anode :

$$2 \text{Cl}^- \rightarrow 2 \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$$
- b) L'hydrogène est produit sur la cathode avec la formation correspondante d'ions d'hydroxydes

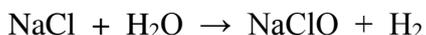
$$2 \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2 \text{OH}^- + \text{H}_2$$
- c) La réaction totale électrochimique est la suivante :

$$2 \text{Cl}^- + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$$

d) Ensuite les ions de chlore et d'hydroxyde réagissent en produisant de l'hypochlorite et des chlorures :



e) La réaction électrochimique globale peut être exprimée comme suit :



f) D'autres réactions, à la fois chimiques et électrochimiques, ont lieu simultanément avec les réactions basiques, comme la décomposition de l'hypochlorite en chlorure, l'oxydation anodique de l'hypochlorite en chlorate (seulement des traces), la réduction cathodique de l'hypochlorite en chlorure et l'évolution anodique de l'oxygène. Toutes ces réactions parallèles affectent l'efficacité du courant et c'est pourquoi la consommation électrique nécessaire pour produire l'hypochlorite est plus élevée que les besoins théoriques. ^[30]

g) En outre, certains cations présents dans l'eau de mer (par exemple calcium, magnésium) forment des hydroxydes et des carbonates à l'origine de solides en suspension, qui sont pour la plupart évacués des électrolyseurs par le débit d'eau de mer chloré. Cependant, suite à la formation de dépôts sur la surface de l'électrode, les électrolyseurs doivent être nettoyés périodiquement avec de l'acide chlorhydrique dilué (6 % p/p). La fréquence de lavage acide optimale peut être déterminée uniquement selon l'expérience de terrain. ^[30]

h) Dans la littérature, les concentrations d'hypochlorite se réfèrent communément aux termes de chlore « disponible » ou « actif », cad la quantité de chlore ayant le même pouvoir d'oxydation que l'hypochlorite quand il est analysé selon des méthodes standards. ^[30]

6. La spectrophotométrie UV-Visible

6.1 Définition

La spectrophotométrie UV-visible est une technique analytique fondée sur l'étude du changement de l'intensité de la lumière traversant une solution colorée, dans un domaine d'application comprise entre 200 et 800 nm, en effet pour pouvoir déterminer les concentrations des substances absorbantes .

Le résultat correspond à des spectres d'émission ou d'absorption, qui ressemble à des courbes de variation d'absorption en fonction de la longueur d'ondes, il est obtenu par un spectrophotomètre à une lumière sensiblement monochromatique, ou le chromophore est le site dont la structure de l'élément à étudier possède l'aptitude à absorber les photons UV ou visible.

Il est caractérisé par la longueur d'onde la plus absorbée (λ_{max}), et l'aptitude la plus importante à absorber les photons à cette longueur d'onde (ξ_{max}) .^[31]

7. Principe de la spectrophotométrie UV-visible

Le spectrophotomètre est un appareil permettant de mesurer l'absorbance d'une solution, pour différentes longueurs d'ondes. Pour cela, il fait passer un rayon d'une longueur d'onde choisie à travers une cuve contenant la solution à étudier.

Les molécules de la solution absorbent plus ou moins le rayon lumineux, on définit alors l'absorbance pour cette longueur d'onde.^[31]

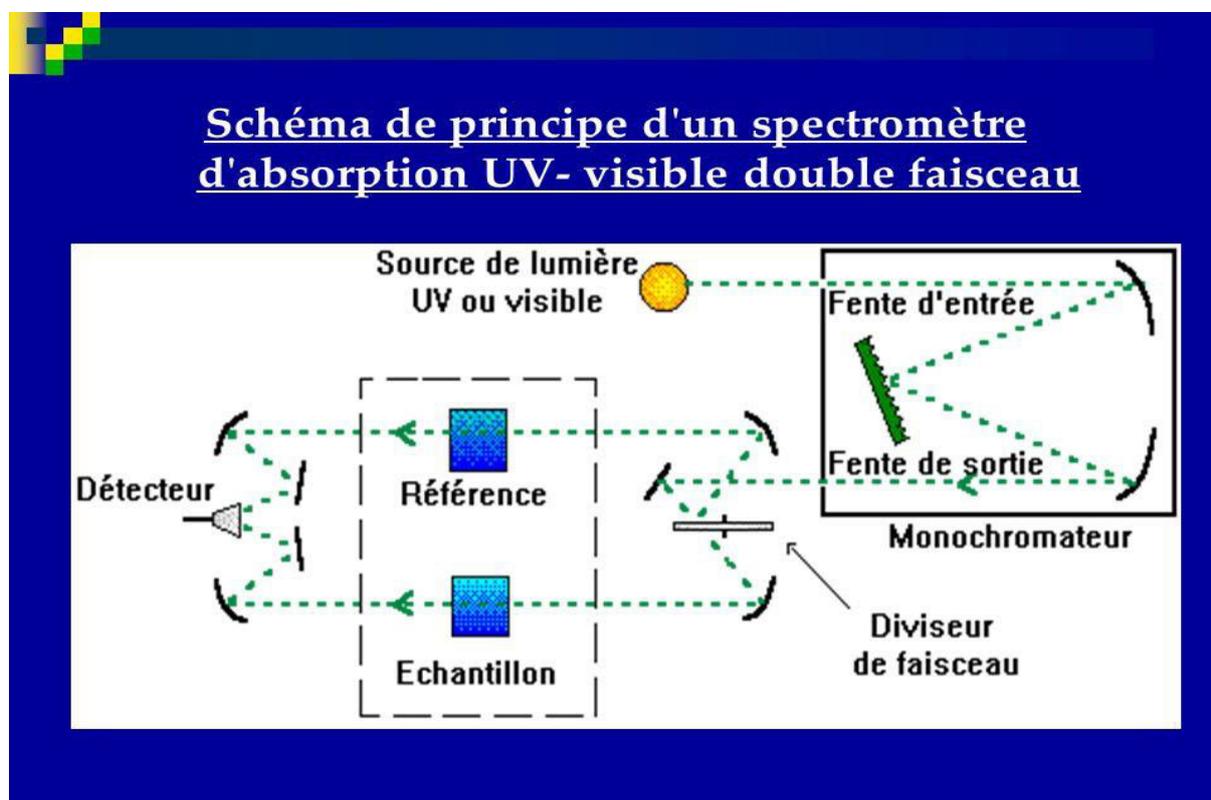


Figure 39 :Schéma de principe d'un spectrophotomètre à double faisceau.

Les molécules qui présentent un spectre d'absorption UV-visible sont celles qui absorbent des photons dont l'énergie correspond à des longueurs d'onde se situant dans le domaine 190 nm – 800 nm. Lorsque des molécules absorbent des photons de l'UV-Visible, l'énergie des électrons de valence augmentent. Le phénomène d'absorption dans le domaine UV-Visible est lié aux variations de l'énergie moléculaire de transitions électroniques. ^[31]

8. Conclusion

La station de dessalement influe sur l'environnement par un ensemble des impacts qui posera un problème pour les faunes et les flores marines (forte salinité)

D'après le stage au SKT (SHARIKET KAHRABA TERGA) nous avons pris une idée de l'électrochloration comme une solution pour la valorisation des saumures de la station de dessalement et pour éviter l'impact sur l'environnement.

1. Introduction

L'expérimentation est une démarche qui consiste à mettre en pratique la théorie développée dans la partie bibliographique, dans notre cas l'électrolyse des saumures.

L'objectif est de voir, en pratique, si on peut réduire la concentration en sels dans le rejet de la SDEM de chat El Hilal en utilisant l'électrolyse. Une saumure concentrée en sels peut affecter la vie sous-marine et la biodiversité de la vie aquatique.

On a mené notre étude expérimentale au niveau du laboratoire de génie de l'eau et de l'environnement du centre universitaire Belhadj Bouchaïb; sur les saumures de la station de dessalement de Béni Saf Chatt El Hilal.

Notre travail consiste à valoriser les saumures de station de dessalement, nous avons choisi l'électrochloration comme procédé de valorisation

2. Objectifs

Dans le but de valoriser les eaux de saumures, nous avons opté pour le procédé d'électrolyse sous sa forme de l'électrochloration afin de réduire les sels dans l'eau soit par décantation ou bien par transformation en eau de javel.

Notre travail consiste à faire passer du courant continu dans une solution de saumures à différents voltages et a différent intervalle de temps.

3. Matériels utilisé

- Bicher 1L, 200 ml
- Chronomètre
- Générateur (transformer courant alternative au courant continu max 18V)
- Deux câbles en cuivre
- Arbre de la pile en charbon
- Pipete 25 ml
- Pro-pipete
- 3 Papier filtrent
- entonnoir
- Balance sensible
- Ph mètre
- Thermomètre
- Enchantions de saumure et l'eau de mer
- Eau distillée 100 ml
- 1g de sel
- Eau de javel 12°, eau de javel diluée, eau de javel doublement diluée
- Le spectrophotomètre
- Fiole



Photo 19 : Pipete 25 ml et Pro-pipete.

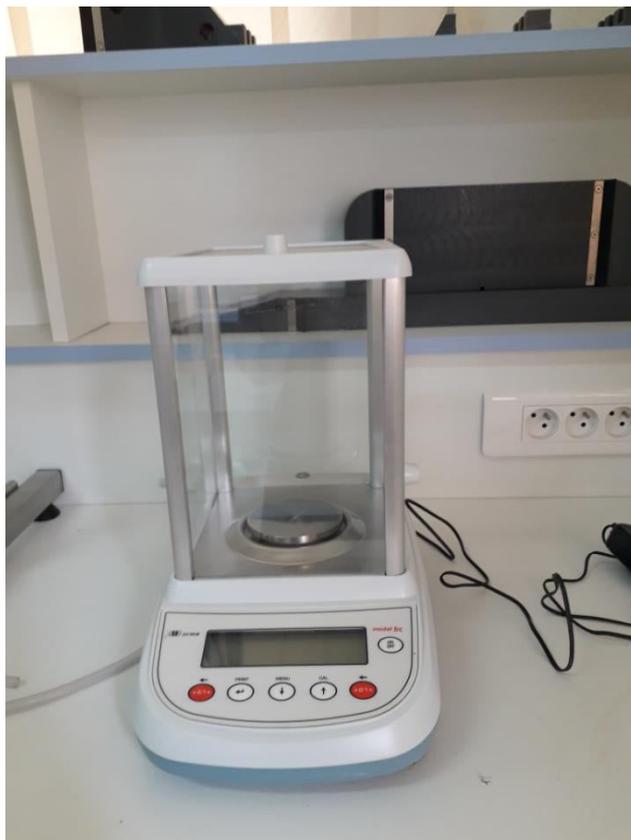


Photo 20 : balance sensible.

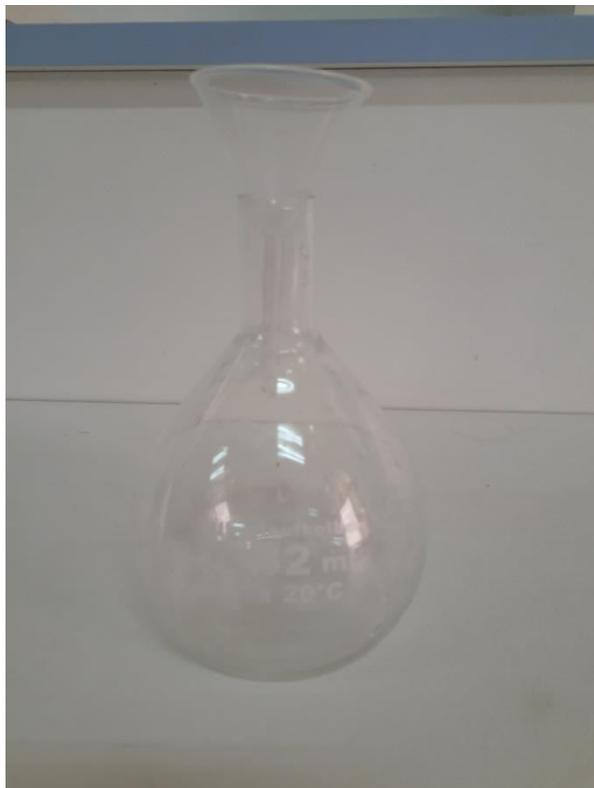


Photo 21 : fiole et entonnoir.



Photo 22 : arbre de pile



Photo 23 : bicher, saumure, les câbles et générateur de courant continu

4. Mode opératoire

- On prend 400 ml de saumure dans bicher 1L
- Lier les câbles avec l'arbre de la pile en charbon
- Brancher les câbles avec générateur
- Régler le générateur sur 9V
- Fixer les câbles sur les coutes de bicher
- Allumer le générateur
- Mesurer le ph et la température chaque 15 min pendant 1h
- Filtrer la solution avec papier filtrent (bien détaiais)
- Prendre 100 ml de la solution filtré avec la pipete
- Analyser la solution avec le spectrophotomètre

Nous avons fais 3 essais avec même méthode nous changeons que le courant (9V ,12V ,18V).

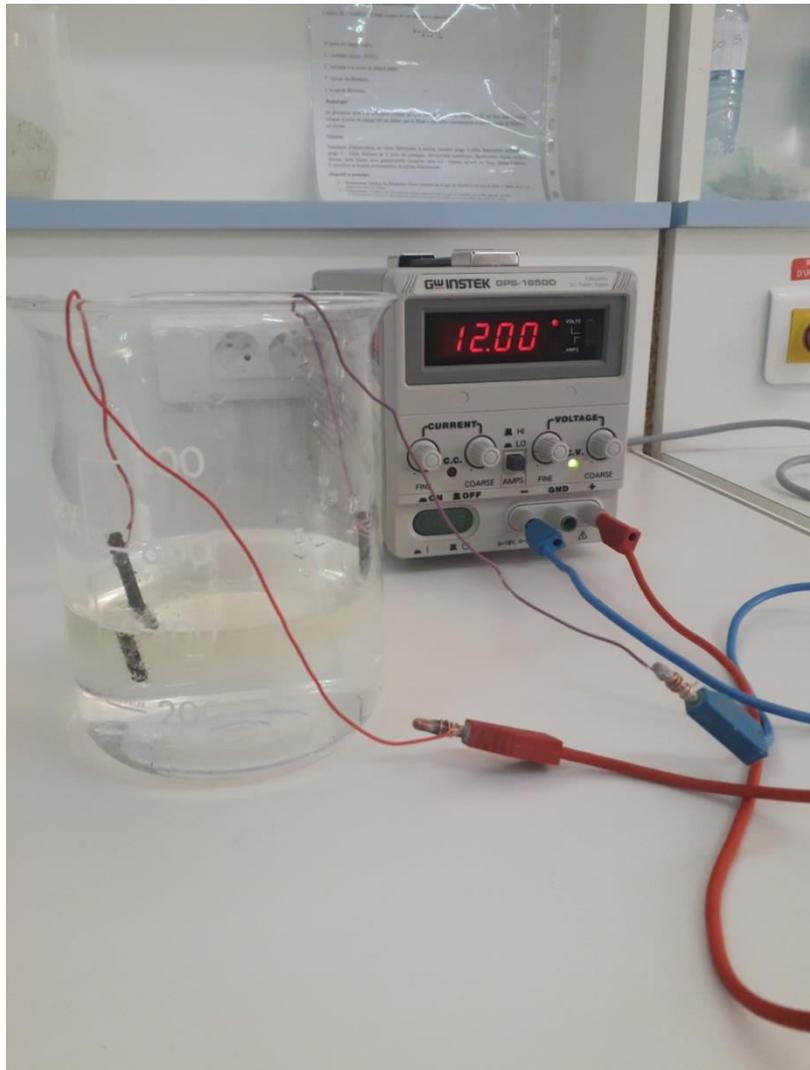


Photo 24 : montage de l'expérience

5. Résultats et discussion

D'après les essais de laboratoire nous obtenons les résultats suivants :

a) 1^{ère} Essais de 9V

Nous avons pesé les deux arbres de piles et papier filtrant vide (pf) masse d'arbre (m_a)

$$m_{a1}=1,0970 \text{ g}$$

$$m_{a2}= 1,068 \text{ g}$$

$$pf=0,7765 \text{ g}$$

Tableau 10 : résultat de laboratoire de 1^{ère}essais.

Temps (min)	Température (°c)	Ph
00	20,4	7,17
15	20,5	7,36
30	20,6	7,40
45	21,4	7,47
60	22,1	7,66

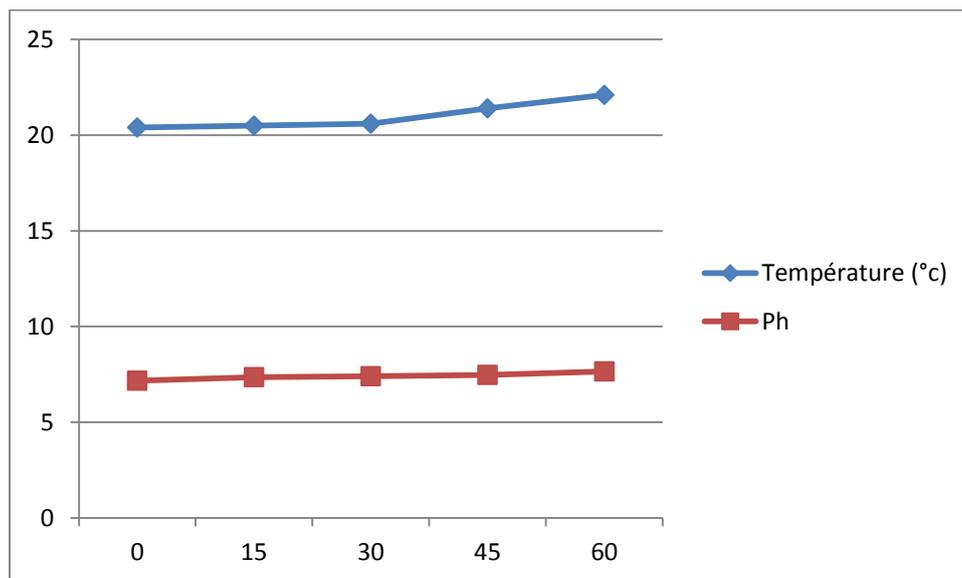


Figure 40 : graphe de température et PH en fonction du temps de 1^{ère}essais.

D'après l'expérience (tableau+graphes) on constate que la température et le PH augmente d'une façon modérée, avec :

- Après quelque second on ressent l'odeur de l'eau de javel
- Après 30 min nous avons observé décantation des sédiments
- Changement de couleur vert claire entre 45 min et 60 min
- Durant toutes les expériences, nous avons remarqué la désintégration des deux anodes et cathodes

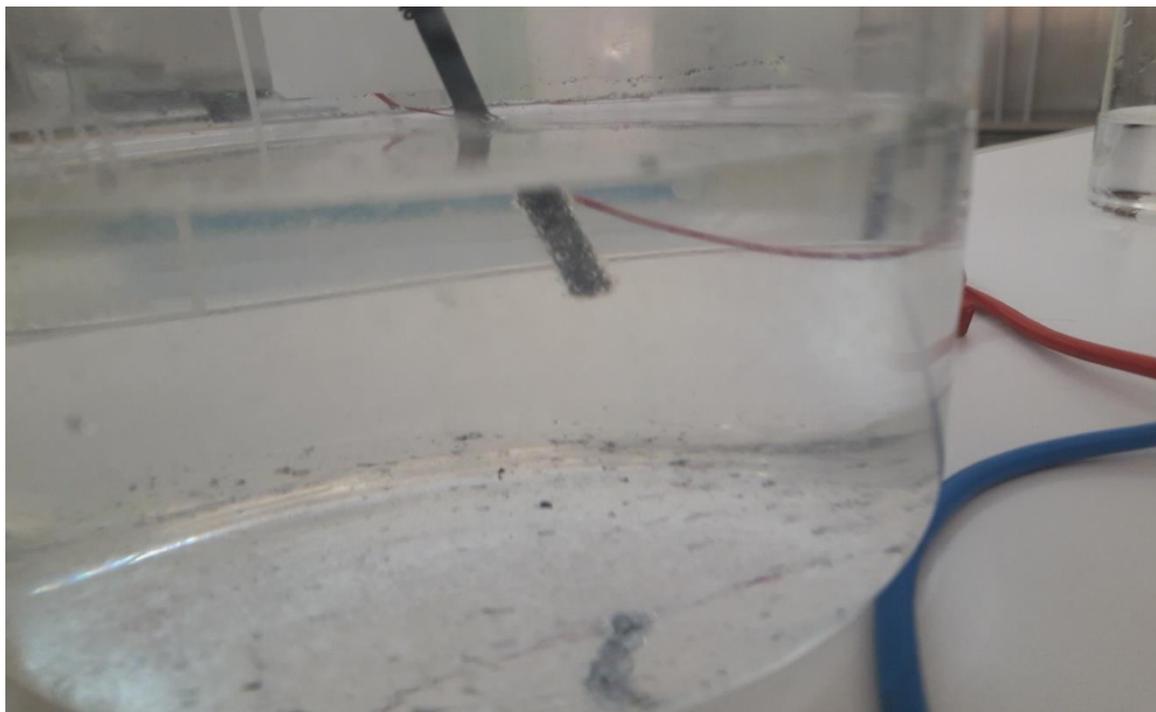


Photo 25 : décantation des sédiments pendant l'essai.

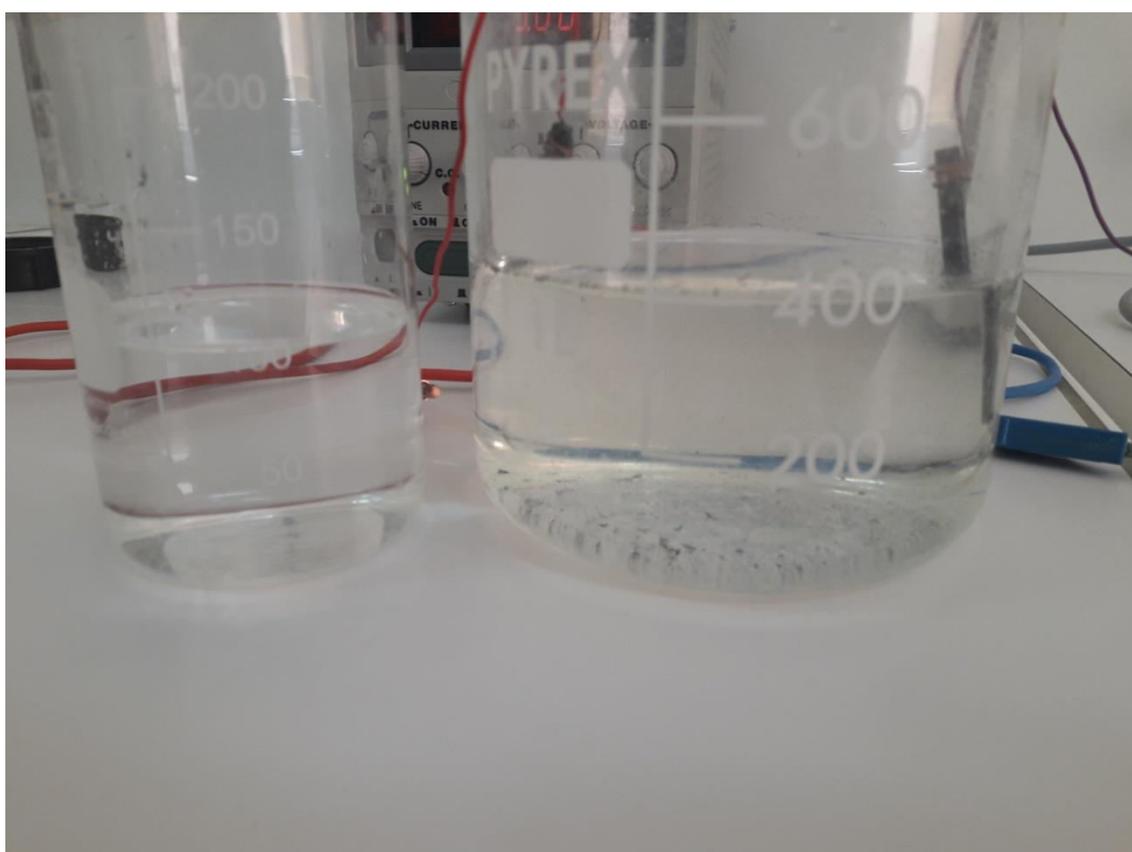


Photo 26 : Changement de couleur pendant l'essai.

Après 1 heure de l'expérience on a filtré et mesuré la masse des sédiments, nous avons obtenu les résultats suivant :

Avant électrolyse

$$m_{a1}=1,0970 \text{ g}$$

$$m_{a2}= 1,068 \text{ g}$$

$$pf=0,7765 \text{ g}$$

Après électrolyse

$$m_{a1}'=1,0945 \text{ g}$$

$$m_{a2}'=1,0733 \text{ g}$$

$$pf'=0,9935\text{g}$$

Bilan de l'électrolyse

$$m_{a1}' - m_{a1} = -0.0025\text{g}$$

$$m_{a2}' - m_{a2} = 0,0053\text{g}$$

D'après les résultats dessus on peut calculer la quantité de les sédiments (m_s) :

$$m_s = pf' - pf = 0,9935 - 0,7765 = 0,217 \text{ g}$$

Le sel contenu dans les saumures a réagi de deux manières :

1. une partie à décantée (0.217g)
2. une autre partie a réagi avec l'anode (0.0028g), en plus de la masse perdu par la cathode et captée par l'anode.

En conclusion de cet essai, la solution (400ml) a perdu 0.2198g durant 1 heure avec 0.217g décantée et 0.0028g la masse qui a réagi avec l'anode.

Pour la réaction en eau de javel c'est dans la partie spectrophotomètre qu'on va déduire selon chaque voltage le pourcentage d'eau de javel.



Photo 27 : sédiment filtré

Calcul la quantité de sédiments de 232 000 m³/j

$$m = (232000 * 0,217) / 0,4 * 10^{-3}$$

$$m = 125860 \text{ kg}$$

b) 2^{ème} Essais de 12V

Nous avons pesé les deux arbres de piles et papier filtrent vide (pf) masse d'arbre (m_a)

$m_{a1}=1,1287$ g

$m_{a2}= 0,8655$ g

pf=0,9213 g

Tableau 11 : résultat de laboratoire de 2^{ème}essais.

Temps (min)	Température (°c)	Ph
00	20,4	7,17
15	23,2	8,18
30	25	8,22
45	28,7	8,29
60	29,9	8,60

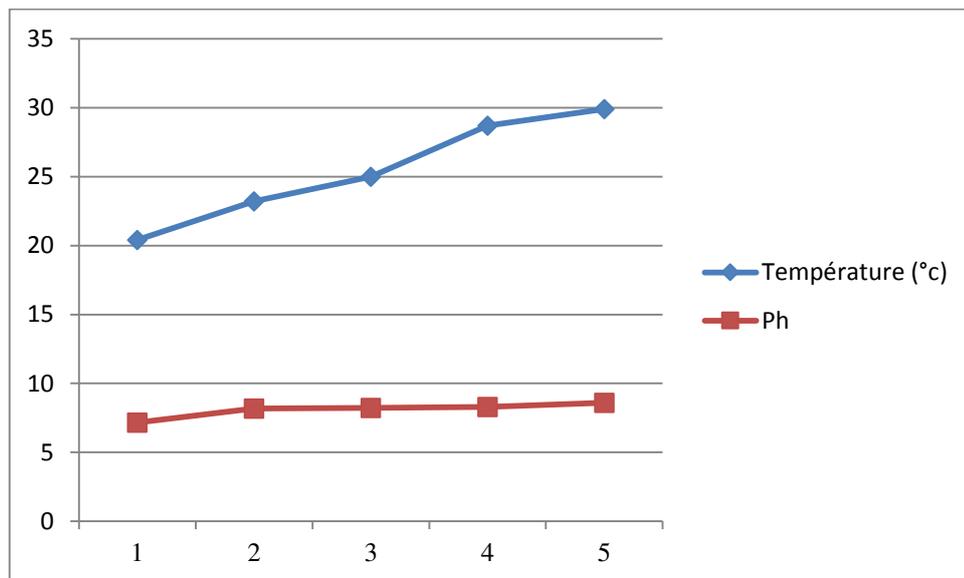


Figure 41 : graphe de température et PH en fonction du temps de 2^{ème}essai.

D'après l'expérience (tableau+graphes) on constate que la température augmente plus rapide que 1^{ère} essais et le PH augmente d'une façon modérée.

Remarque :

- Après quelque seconde sentie l'odeur de javel ;
- Avant 15 min nous avons observées changement de couleur ;
- Après 15 min nous avons observé décantation des sédiments.

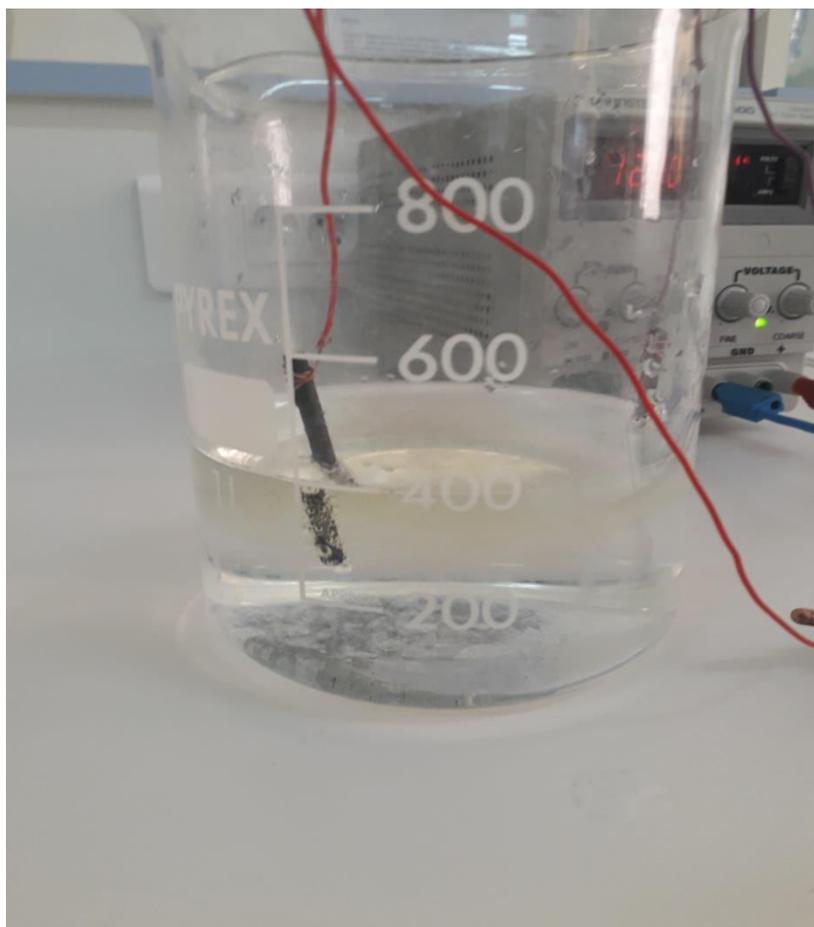


Photo 28 : changement de couleur avant 15 min



Photo 29 : décantation des sédiments après 1h

Après 1 h de l'expérience on a filtré les sédiments et mesuré ,nous obtenons les résultats suivant :

Avant électrolyse

$$m_{a1}=1.1287 \text{ g}$$

$$m_{a2}= 0.8655 \text{ g}$$

$$pf=0.9213 \text{ g}$$

Après électrolyse

$$m_{a1}'=1,0945 \text{ g}$$

$$m_{a2}'=1,0733 \text{ g}$$

$$pf'=2.1189\text{g}$$

Bilan de l'électrolyse

$$m_{a1}' - m_{a1} = -0.0074\text{g}$$

$$m_{a2}' - m_{a2} = 0,0078\text{g}$$

D'après les résultats dessus on peut calculer la quantité des sédiments (m_s) :

$$m_s = pf' - pf = 2,1189 - 0,9213 = 1,1976 \text{ g}$$

Le sel contenu dans les saumures a réagi de deux manières :

1. une partie à décantée (1,1976 g)
2. une autre partie a réagi avec l'anode (0.0004g), en plus de la masse perdu par la cathode et captée par l'anode.

En conclusion de cet essai, la solution (400ml) a perdu 1.1980g durant 1 heure avec 1,1976 g décantée et 0.0004g la masse qui a réagi avec l'anode.

Pour la réaction en eau de javel c'est dans la partie spectrophotomètre qu'on va déduire selon chaque voltage le pourcentage d'eau de javel.

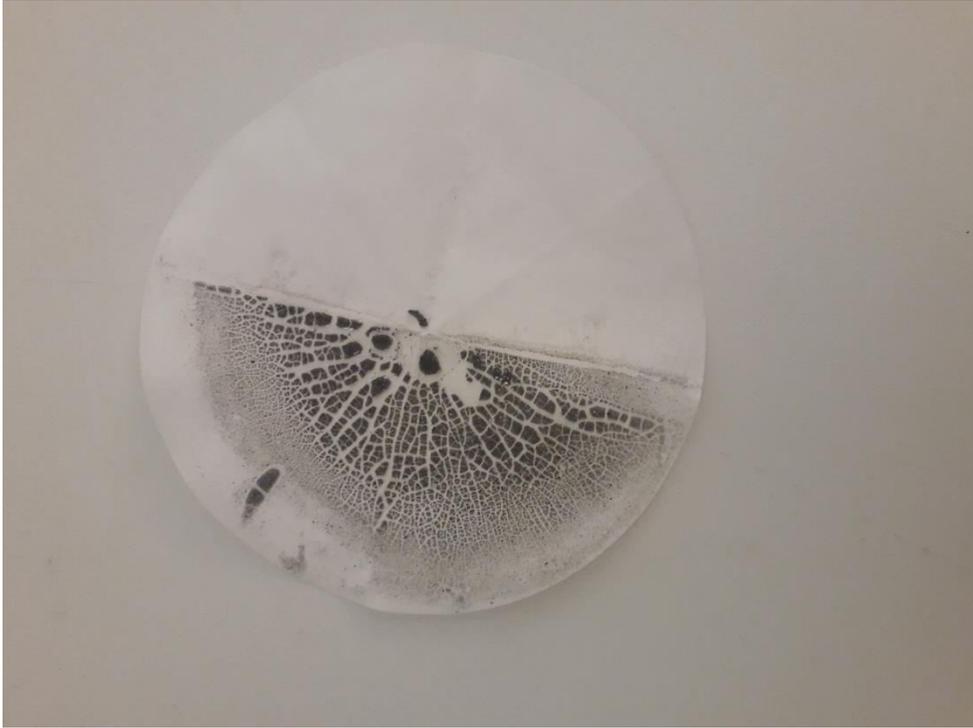


Photo 30 : sédiments filtré de l'essai 12V

Calcul la quantité de sédiments de 232 000 m³/j

$$m = (232000 * 1,1976) / 0,4 * 10^{-3}$$

$$m = 690200 \text{ kg}$$

c) 3^{ème} Essais de 18V

Nous avons pesé les deux arbres de piles et papier filtrent vide (pf) masse d'arbre (m_a)

$$m_{a1}=1,0739 \text{ g}$$

$$m_{a2}= 1,0946 \text{ g}$$

$$pf=0,9182 \text{ g}$$

Tableau 12 : résultat de laboratoire de 3^{ème}essai.

Temps (min)	Température (°c)	Ph
00	20,4	7,17
15	30,8	9,10
30	37,7	9,29
45	46,4	9,49
60	50,6	9,60

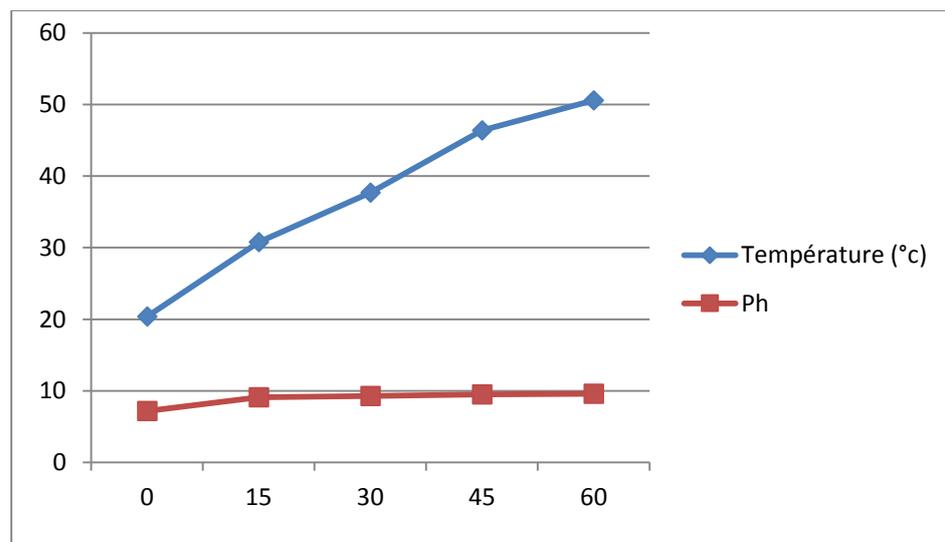


Figure 42 : graphe de température et PH en fonction du temps de 3^{ème}essai.

D'après l'expérience (tableau+graphes) on constate que la température augmente plus rapide que les 2 essais précédant et le PH augmente d'une façon modérées.

Remarque :

- Après quelque seconde sentie l'odeur de javel
- Avant 5 min nous avons observées changement de couleur
- avant 15 min nous avons observé décantation des sédiments

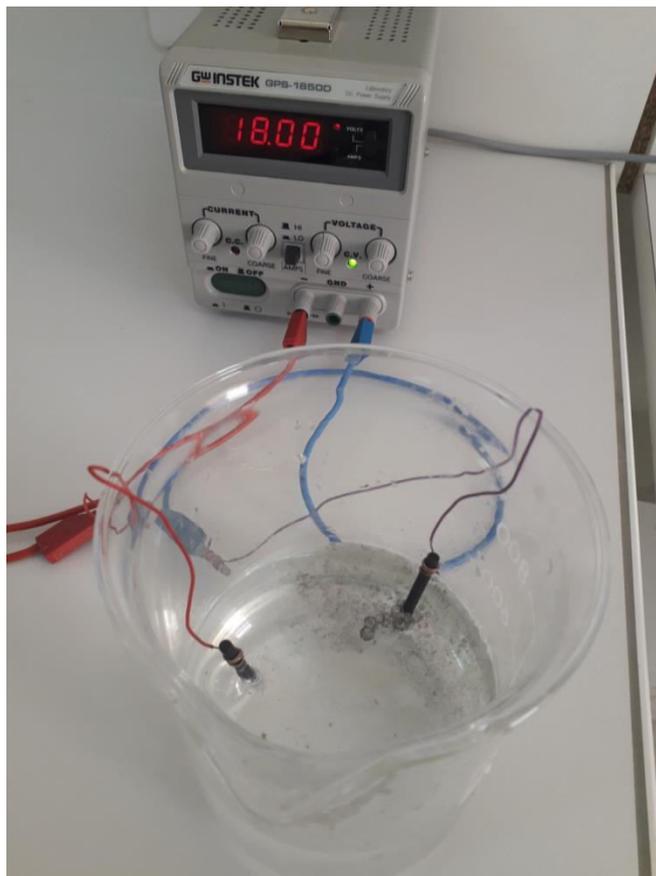


Photo 31 : changement de couleur avant 5 min de commencement.

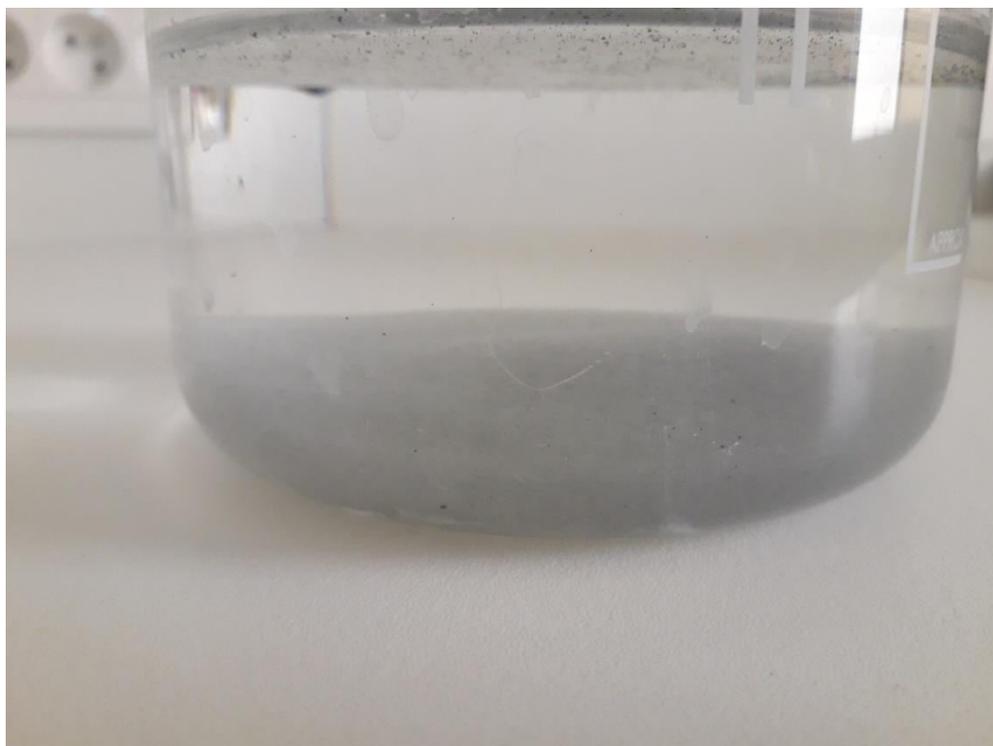


Photo 32 : décantation des sédiments après 1h de l'expérience.

Après 1 h de l'expérience on a filtré les sédiments et mesuré, nous obtenons les résultats suivant :

Avant électrolyse

$$m_{a1}=1,0739 \text{ g}$$

$$m_{a2}= 1,0946 \text{ g}$$

$$pf=0,9182 \text{ g}$$

Après électrolyse

$$m_{a1}'=1,0932 \text{ g}$$

$$m_{a2}'=1,0434 \text{ g}$$

$$pf'=3,0136 \text{ g}$$

Bilan de l'électrolyse

$$m_{a1}' - m_{a1} = 0,0193\text{g}$$

$$m_{a2}' - m_{a2} = -0.0512\text{g}$$

D'après les résultats dessus on peut calculer la quantité des sédiments (m_s) :

$$m_s = pf' - pf = 3,0136 - 0,9182 = 2,0954\text{g}$$

Le sel contenu dans les saumures a réagi de deux manières :

1. une partie à décantée (2,0954 g)
2. une autre partie a réagi avec l'anode (0.0319g), en plus de la masse perdu par la cathode et captée par l'anode.

En conclusion de cet essai, la solution (400ml) a perdu 2,1273 g durant 1 heure avec 2,0954 g décantée et 0.0319g la masse qui a réagi avec l'anode.

Pour la réaction en eau de javel c'est dans la partie spectrophotomètre qu'on va déduire selon chaque voltage le pourcentage d'eau de javel.



Photo 33 : sédiments filtré de l'essai 18V

Calcul la quantité de sédiments de 232 000 m³/j

$$m = (232000 * 2,0929) / 0,4 * 10^{-3}$$

$$m = 1212200 \text{ kg}$$

Remarque

On remarque que la quantité des sédiments augmente à chaque fois que l'on augmente le voltage (9V, 12V, 18V)



Photo 34 : les sédiments de 3 essais.

6. Spectrophotométrie

Afin d'avoir une idée sur les compositions des solutions obtenues après électrochloration et la composition de la matière décantée, nous avons fait appel à la spectrophotométrie à UV visible, dans cette dernière, on a tout d'abord commencé par l'eau de mer et la saumure (voir la figure ci-dessous).

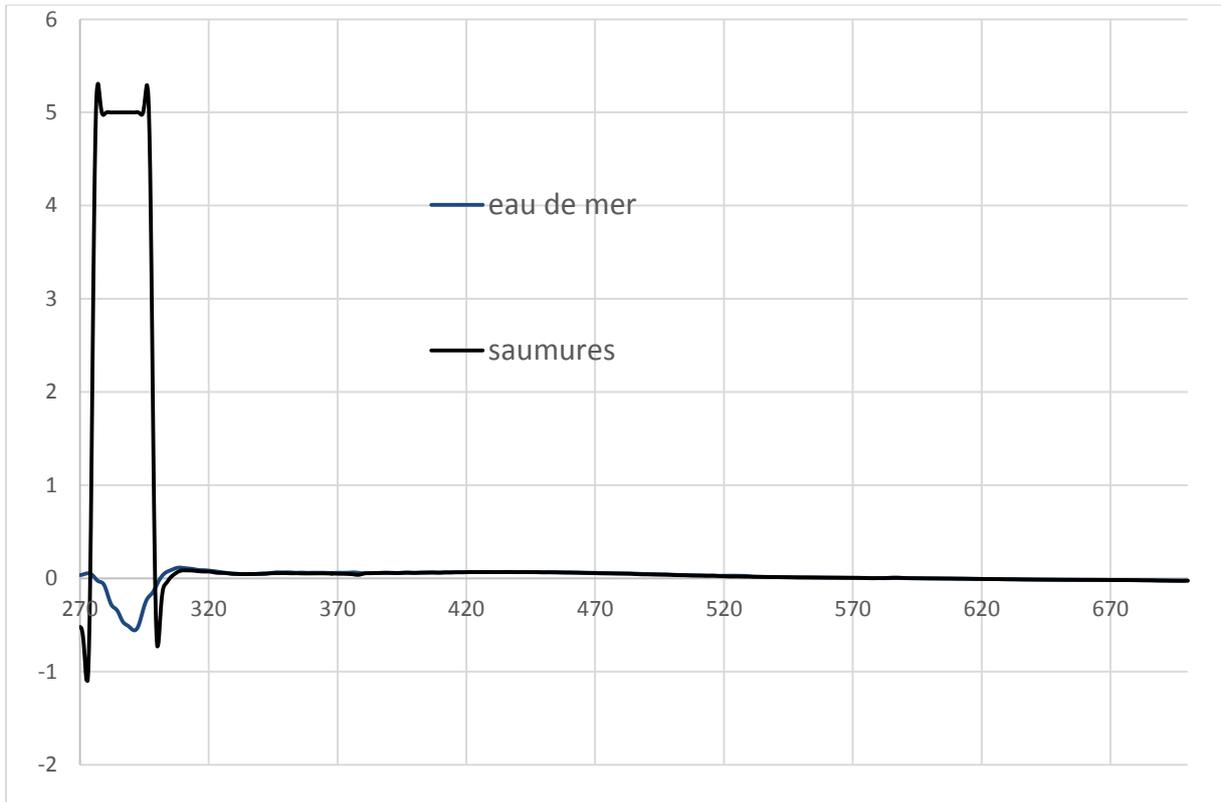


Figure 43 : graphe eau de mer et saumures.

On remarque que les deux courbes tracées $abs=f(\lambda)$ d'eau de mer et les saumures quand $\lambda[270-300]$ nm il y a une grand différent entre ces deux échantillons dans l'absorbance, car les saumures et l'eau de mer ne contient pas la même concentration, en plus les limites du spectrophotomètre en terme d'absorbance est de 5, la saumure a dépassé cette limite entre 275-300, la courbe ne peut être interprété sans avoir la courbe complète.

$\lambda > 300$ nm les deux courbes ont la même allure identique donc dans cette phase il existe la même concentration des substances.

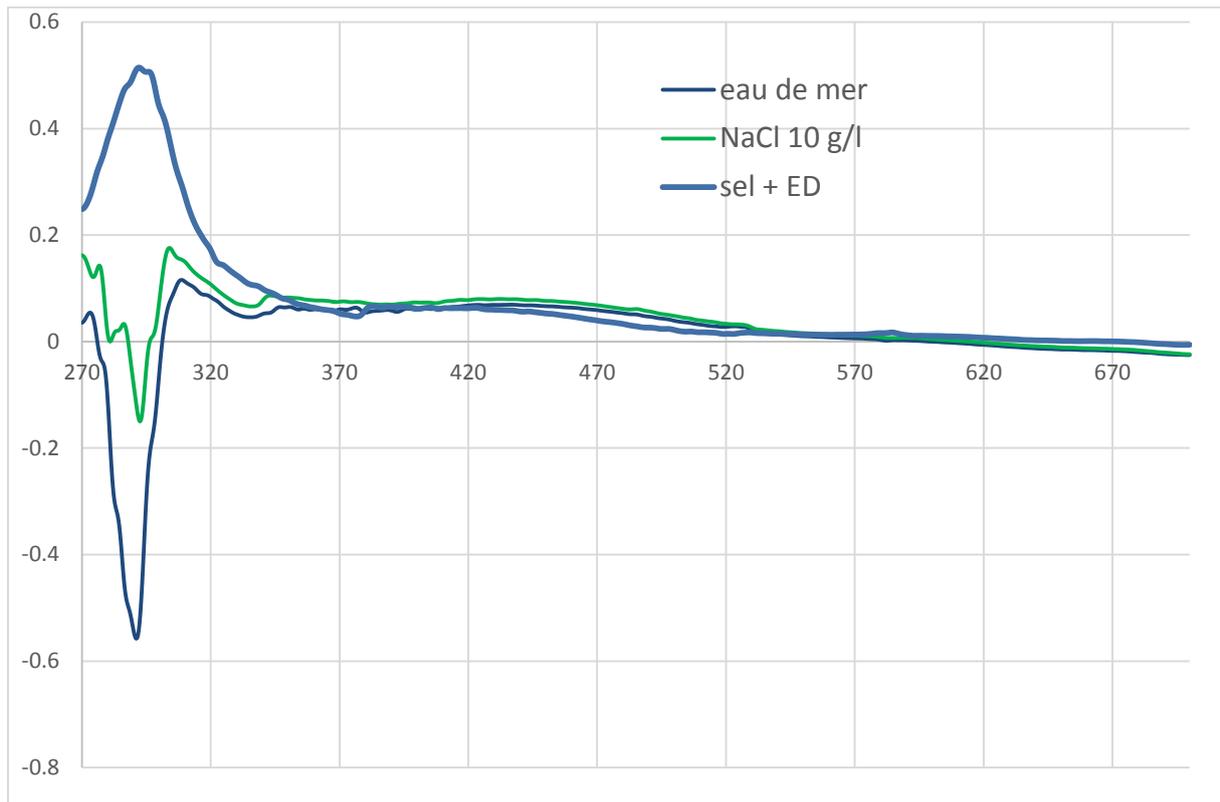


Figure 44 : graphe eau de mer, eau distillé avec NaCl et sels décantés+ eau distillée.

En premier lieu, nous avons choisi de préparer une solution a base de NaCl pour pouvoir comparer cette dernière a l'eau de mer, d'ailleurs les deux courbes sont identiques avec des différences dans la concentration.

La deuxième partie consiste a étudiée la composition des sels obtenus de l'essai du 18volt.

Dans ce dernier nous avons remarqué la décantation de 2g de sels durant une heure, l'étape suivante est de savoir de quel type de sel s'agit il ???

Pour répondre a cette question, et vue le manque de matériels, nous avons décidé d'utiliser le spectrophotomètre de la façon suivante :

D'abord on dilue 1g de ce sel (après séchage) dans 100ml d'eau distillée et on fait la comparaison avec une solution aqueuse préalablement étudiée (1g NaCl dans 100ml d'eau distillée), l'objectif est de voir la possibilité de superposer parfaitement t ces deux courbes et pouvoir dire que le sels décanté est a 100% du NaCl, mais les résultats obtenus sur la figure ci-dessus montre qu'entre la longueur d'onde 270-338 μm une grande différence s'installe et de ce fait, on peut que les sels décantés sont différent du pure NaCl plutôt un mélange de sels.

Dans la figure suivante on présente ; les graphes de spectrophotomètre d'eau de mer, les saumures, eau+ NaCl a 1g/100ml, eau de javel à 12°, Eau de javel diluée, eau de javel doublement diluée, triplement diluée, les résultats de l'électrolyse (9V,12V et 18V).

La première remarque la majorité des courbes ont dépassées les limites du spectrophotomètre (absorbance=5), deuxièmes, l'électrolyse avec un courant de 9 Volt n'a pas un effet remarquable sur la composition de la solution (la courbe du 9volt est identique a la courbe des saumures), cela signifie que nous avons seulement réduit les concentrations sans la création d'autre molécules (l'eau de javel).

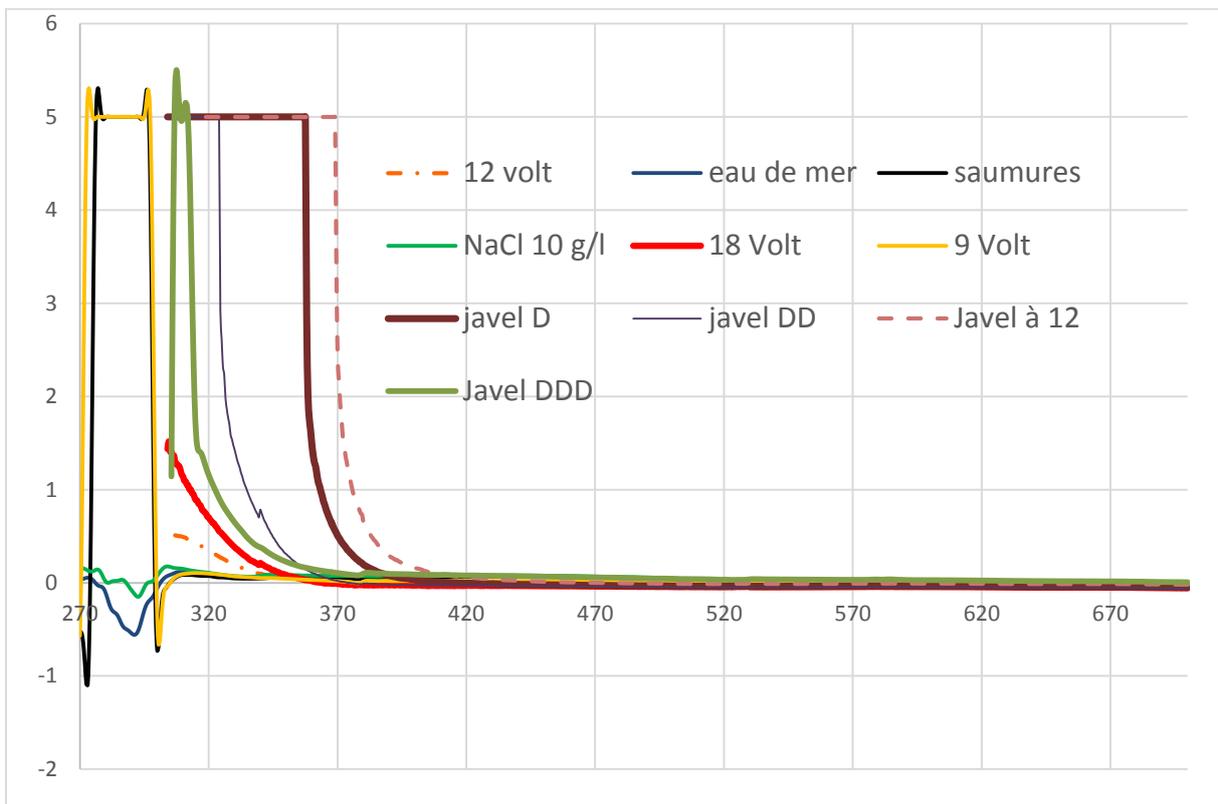


Figure 45: les graphes eau de mer, eau distillé avec NaCl, saumures, eau de javel 12°, eau de javel diluée, eau de javel doublement diluée, solutions de 3 essais.

D'autre part, et sur la base des documents de littératures, l'électrolyse engendre la création de l'eau de javel, dans ce contexte, nous avons dilué l'eau de javel plusieurs fois pour le comparer a notre solution (du 12 et 18 Volt).

Finalement nous avons remarqué que l'allure et la forme des courbes des solutions issues de l'électrochloration en l'occurrence celle du 12 V et 18 V se rapproche de la forme et l'allure de l'eau de javel triplement diluée.

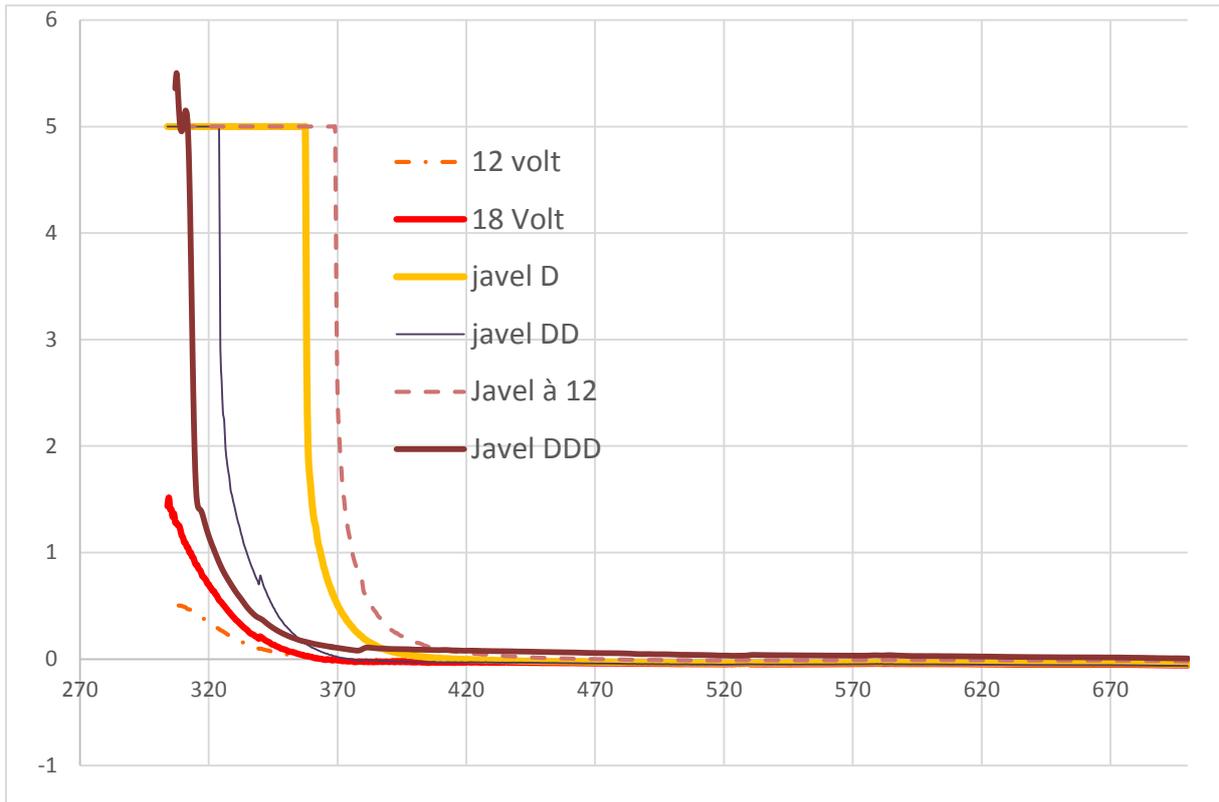


Figure 46 : graphe de l'eau de javel doublement dilué, solutions de les 2 essais 12V et 18V eau de javel triplement dilué.

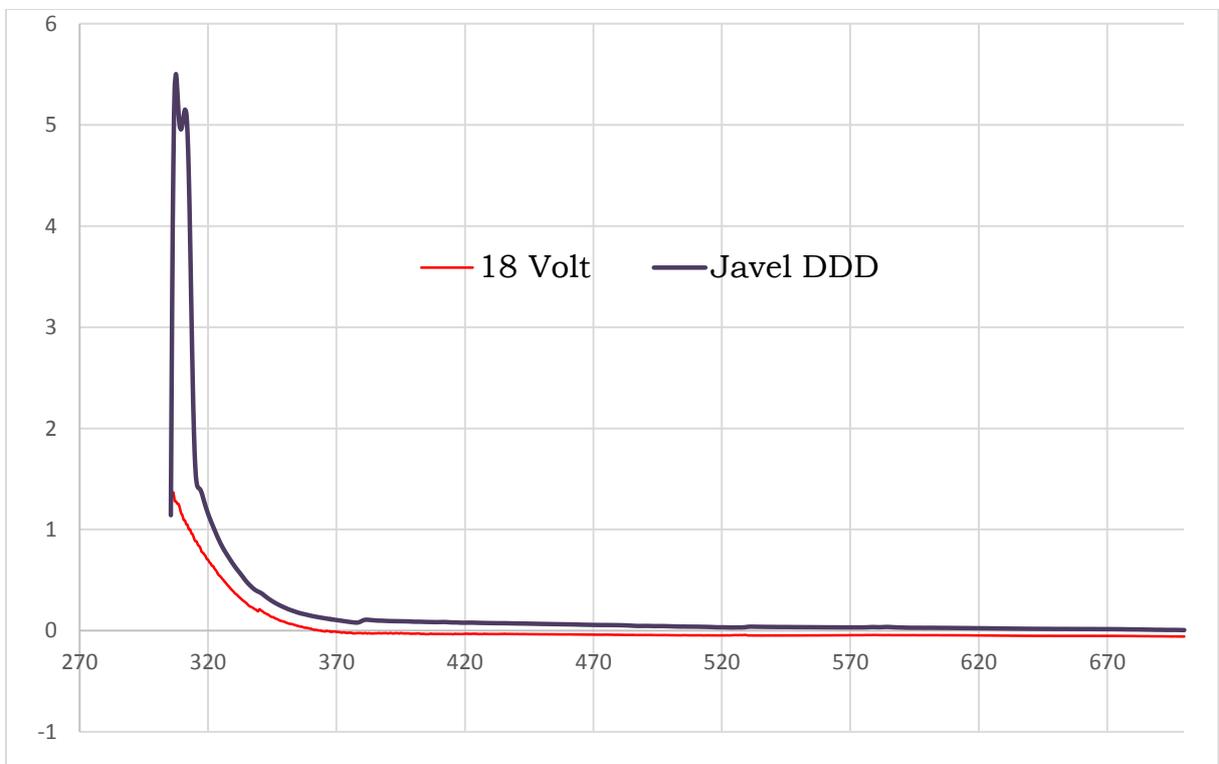


Figure 47 : les graphes de l'eau de javel triplement dilué et solution de l'essai 18V.

7. Les expériences sous le microscope électronique à balayage (MEB)

La composition du sel décanté n'étant pas connue, nous avons fait appel au microscope électronique à balayage pour définir précisément la nature du sel décanté.

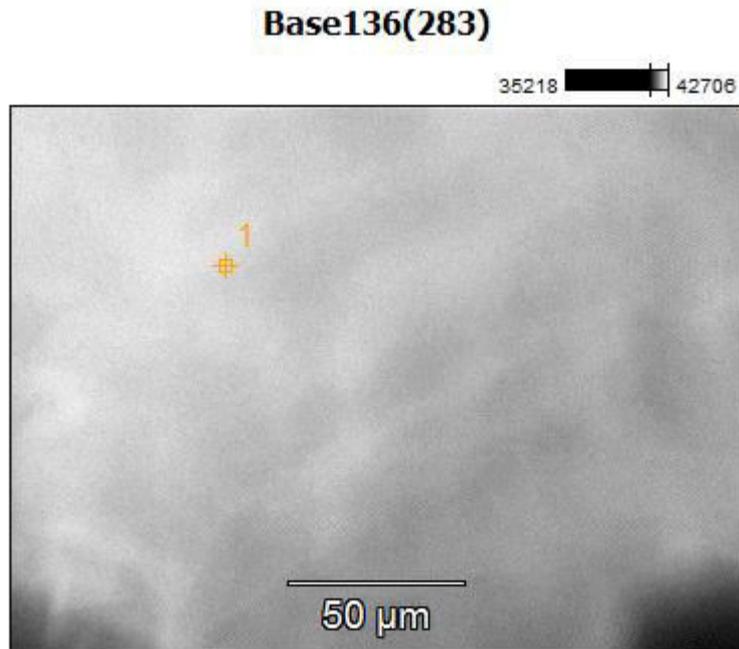


Photo 35: Echantillon du microscope électronique à balayage (MEB).

Les résultats montrent que le Sodium (Na), le chlore (Cl) et l'oxygène (O) sont majoritaires dans ce sel.

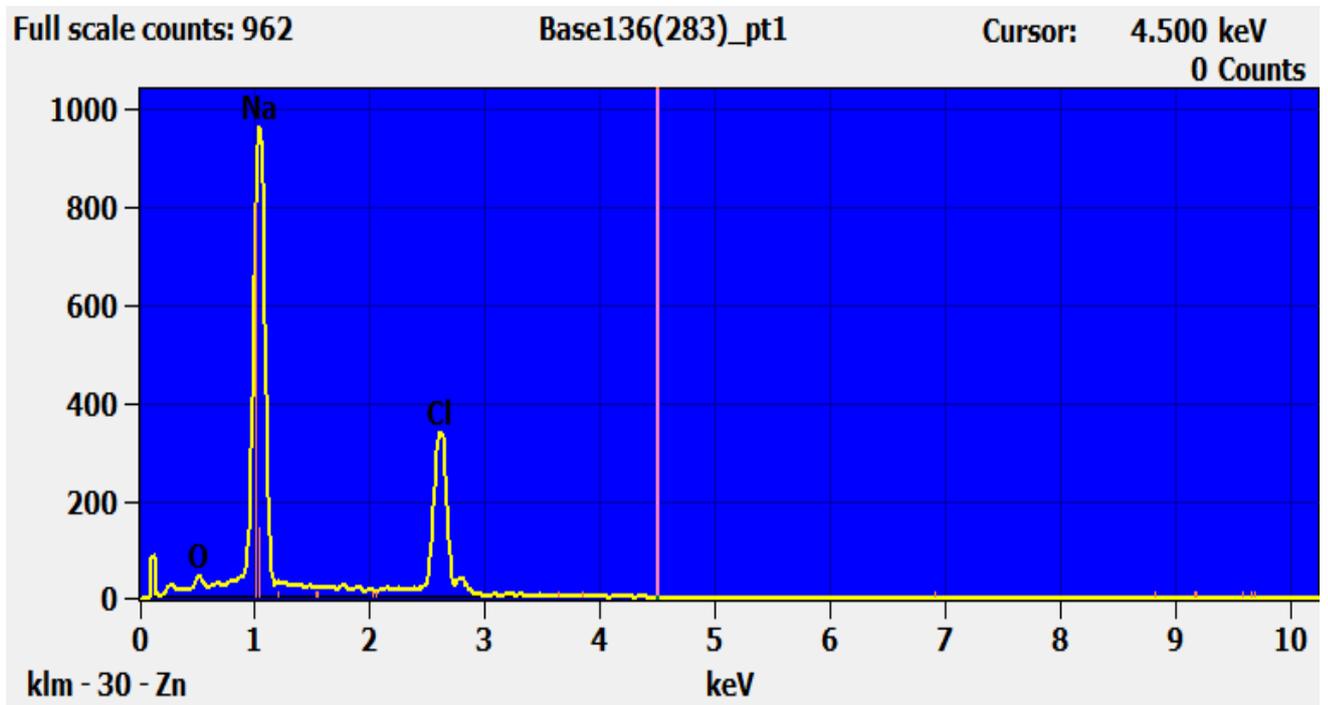


Figure 48 : courbe de composition du sel extraite du MEB.

Le sodium représente 66.4% en termes de poids et 69.4% en termes de nombre d'atomes, par contre le chlore représente 24% en termes de poids et 16.3% en nombre d'atomes et finalement l'oxygène est présent à 9.5% en termes de poids et à 14.3% en termes du nombre d'atomes.

La conclusion se résume dans la repondération du NaCl dans le sel décanté avec d'autres composantes de faible pourcentage dont l'oxygène est le principal atome de la molécule.

Finalement, en termes de cette partie expérimentale, on peut tirer plusieurs conclusions mais principalement deux :

La première est que en utilisant le 9 V on a une pure électrolyse qui engendre des réactions chimiques et des substances décantées (0.217g/400ml), une interpolation de ces résultats pour la station entière nous donne 125860kg de sels par jours et sans production d'eau de javel.

La deuxième remarque est que si on veut produire de l'eau de javel on doit impérativement utiliser le procédé à 18V vue que les deux courbes obtenues (18 v et l'eaux de javel diluée 1 :11) sont identique (voir la figure 47) avec des quantités très importantes de sels 1212200 kg par jrs pour toute la SDEM de Chat El Hilal.

Le sel décanté contient un fort pourcentage du NaCl selon l'analyse du MEB, cela correspond a nos objectif de produire du sel et de l'eau de javel.

Conclusion générale

Au terme de ce travail qui nous a permis de mettre la lumière sur la valorisation des saumures de la SDEM Chat El Hila, nous avons pu tirer des conclusions intéressantes.

Nous avons menée mémoire dans le but d'améliorer notre compréhension du phénomène d'électrolyse et ses applications.

L'objectif de notre travail est de valoriser les saumures de la station de dessalement de Chat El Hilal (BWC). Afin de répondre à cet objectif, nous avons choisi d'utiliser la méthode de l'électro-chloration avec le courant continu.

Avec la pénurie en eau potable, le dessalement de l'eau de mer devient une des solutions les plus pratiques à travers le monde, pour l'alimentation en eau potable, ainsi qu'aux besoins industriels.

Il représente aussi une dangereuse activité qui exerce des impacts sur le milieu marin, ces impacts vont du changement de l'occupation du sol, des conséquences esthétiques et des nuisances sonores ou des rejets rejetés dans l'eau, émissions dans l'atmosphère et dommages potentiels pour le milieu récepteur. Le principal rejet c'est la saumure qui est un polluant nocif sur la vie marine.

A cet effet, la protection des zones côtières est l'un des enjeux majeurs pour notre pays qui possède une façade maritime.

Alors, pour éviter d'impacter sur le milieu marin il faut valoriser les saumures

Afin de diminuer l'impact environnemental des saumures et leurs rejets en mer, il convient d'étudier des moyens de réduire la concentration en sels ou une valorisation des saumures. Etant donné qu'il n'existe actuellement pas de réglementations concernant les rejets de saumures, en général la saumure des usines de dessalement est rejetée directement dans la mer ou associée aux rejets de l'eau de refroidissement des centrales ou aux effluents des stations d'épuration.

L'expérimentation est une démarche qui consiste à mettre en pratique la théorie développée dans la partie bibliographique, dans notre cas l'électrolyse des saumures.

Dans le but de valoriser les eaux de saumures, nous avons opté pour le procédé d'électrolyse sous sa forme de l'électrochloration afin de réduire les sels dans l'eau soit par décantation ou bien par transformation en eau de javel.

On peut classer les résultats en deux parties : l'électrolyse et le spectrophotomètre

Pour la première partie, nous avons fait circuler un courant continu sur trois paliers (9Volt, 12Volt et 18 Volt), et nous avons mesuré la masse de la matière décantée.

Nous avons, tout d'abord conclu qu'à partir de 12 volt c'est m'électrochloration qui produit l'eau de javel et que le meilleur rendement en terme de mass de sels décanté est celle de 18 Volt durant une heure qui est de 1,212 M kg

Pour la deuxième partie nous avons essayé de caractériser le liquide après l'électrolyse et aussi de savoir la composition de la matière décantée.

Nous avons déduit qu'à 18volt on produit de l'eau de javel à une faible concentration (presque 1 pour 11 d'eau de javel à 12°), et des quantités énormes de sels peuvent être réduites de la saumure avant de jeté dans la mer.

Selon l'analyse faite sur le microscope électronique a balayage, le sel décanté contient un fort pourcentage du NaCl selon l'analyse du MEB, cela correspond a nos objectif de produire du sel et de l'eau de javel

Le sodium représente 66.4% en termes de poids et 69.4% en termes de nombre d'atomes, par contre le chlore représente 24% en termes de poids et 16.3% en nombre d'atomes et finalement l'oxygène est présent à 9.5% en termes de poids et à 14.3% en termes du nombre d'atomes.

La conclusion se résume dans la repondération du NaCl dans le sel décanté avec d'autres composantes de faible pourcentage dont l'oxygène est le principal atome de la molécule.

Finalement, le manque de matériels et de documentation été le principale obstacle face a ce travail.

Ces observations montrent que si on peut réduire la concentration d'affluent rien de quelques grammes par litre cela engendrera une augmentation de la durée de vie des membranes d'OI.

En perspectives à ce travail, on pense que si on trouve les mécanismes d'appliquer ces procédés (celui de 9volt) avant l'injection de l'eau dans les unités d'OI sa augmentera, probablement, la durée de vie des unités d'OI. Les résultats obtenus grâce à l'électrolyse a 9 Volt montrent qu'il y a décantation des sels sans production d'eau de javel.