

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA

BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Sciences de l'ingénierie
Département : Génie des procédés
Domaine : Sciences et Technologie
Filière : Génie des procédés
Spécialité : Génie chimique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

Déminéralisation de l'eau à Ferial-Annaba

Présenté par : *NECIB Imane*
LADJIMI Assia

Encadrant : *Dr. EULMI Amina*

Université Badji Mokhtar- Annaba

Jury de Soutenance :

TOUBAL	Pr	Université Badji Mokhtar-Annaba	Président
EULMI	Dr	Université Badji Mokhtar-Annaba	Encadrant
HAMOUCHE	MME	Université Badji Mokhtar-Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2023/2024

Remercîments

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté et le courage de terminer ce travail.

Nous tenons à remercier notre encadreur madame,

Amina Eulmi

Qui ont bien voulu nous encadrer durant ce mémoire.

*Nous expirons aussi nos remercîments à l'équipe de centrale utilité II, et l'équipe de laboratoire d'analyse de complexe **FERTIAL ANNNABA**.*

Nous remercîments à tous ceux qui nous ont aidés tout au long du processus d'étude.

Merci à tous.

Dédicace

C'est avec une joie immense et le cœur ému que je dédie ce mémoire à ma chère famille qui me donne le courage pour terminer ce travail.

A ma mère

Source d'amour, de joie, de conseil, de patience et de sacrifice. Quoi que je puisse dire et écrire, je ne pourrais exprimer ma grande affection et ma profonde reconnaissance. J'espère ne jamais te décevoir ta confiance et tes sacrifices. Je te souhaite une longue et heureuse vie.

A mon père

Tu es le meilleur. Aucune dédicace ne saurait exprimer ma reconnaissance et ma profonde amour. Puisse dieu vous préserver et vous procurer santé et bonheur.

Ce travail est le résultat de l'esprit et de sacrifice dont vous avez fait preuve de l'encouragement et le soutien que vous avez ne cessez de manifester.

A mes chère frère Ramy, Islam et ma petite sœur Assola

Merci pour votre présence, votre soutien, et tous les beaux moments que je passe avec vous.

Je te souhaite un avenir plein de joie, de bonheur et de réussite.

A mes amis, chacun par son nom à toutes les personnes qui ont participé à cette aventure, ainsi que toutes les personnes, qui m'ont soutenu tout au long de mes études.

Merci

IMANE NECIB



Dédicaces

Grâce à Dieu Tout-Puissant, nous avons réalisé cet humble projet.

Je dédie ce travail aux personnes les plus proches de mon cœur.

À mes chers parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leurs encouragements constants pour atteindre mes objectifs et ambitions, retrouvez ici tout l'amour et l'épreuve.

À mes sœurs et frères pour leur soutien constant et leur compréhension tout au long de ce travail.

À mes chers amis pour leur présence, leurs conseils avisés et leurs précieux encouragements.

*À mon binôme **Iman** pour tout ce qu'elle a fait pour la réussite de ce travail.*

*À la personne qui m'a le plus soutenu tout au long de ce travail, mon fidèle ami **Islam**.*

Je vous adresse ma plus profonde gratitude et vous remercie du fond du cœur.



ASSIA LADJIMI

SOMMAIRE

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste d'abréviations	
Introduction générale :	2

Chapitre I : Présentation de l'entreprise

I.1.Introduction :	5
I.2.Présentation de l'entreprise Fertial :	5
I.3.Présentation de la centrale II :	6
I.3.1. Section de pompage de l'eau de mer :	8
I.3.2. Section de dessalement de l'eau de mer (SIDEM) :	8
I.3.3. Section de déminéralisation :	9
I.3.4. Section de la production de la vapeur (chaudière) :	10
I.3.5 Section turbo alternateurs :	11
I.3.6 Section d'air comprimé (compresseur) :	11
I.4 Production de l'entreprise :	11
I.5 Conclusion :	12

Chapitre II : Généralité sur l'eau de mer

II.1 Introduction :	14
II.2 L'eau de mer :	14
II.3. Composition de l'eau de mer	14
II.4. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer :	15
II.4.1. Salinité :	15
II.4.1.1.Définition théorique :	16
II.4.2 La densité :	16
II.4.3. La température :	16
II.4.4 La conductivité :	17
II.4.5 Potentiel d'hydrogène (pH):	17
II.4.6 La dureté (TH):	18
II.4.7 Le Titre Alcalimétrique (TA) :	19
II.4.8 Le Titre Alcalimétrique Complet (TAC) :	19

II.4.9 Les Chlorures (Cl ⁻):.....	19
II.4.10 La silice (SiO ₂) :.....	19
II.4.11. Phosphate :.....	19
II.5 Paramètres organoleptiques :	20
II.5.1 Couleur :.....	20
II.5.2 Odeur et saveur :.....	20
II.5.3 Turbidité :.....	21
II.6. Paramètres microbiologiques :	21
II.7. Norme de potabilité sur les sels :	22
II.8. Conclusion :	24

Chapitre III : Déminéralisation sur résine

III.1 Introduction :	26
III.2 La déminéralisation :	26
III.2.1 Définition de l'eau déminée :	26
III.2.2 Caractéristique de l'eau déminéralisée :	27
III.3 Les techniques de déminéralisation :	27
III.3.1 L'Osмосe Inverse :	27
III.3.2 Distillation :	27
III.3.3 La résine échangeuse d'ions :.....	27
III.4 Fonctionnement de l'installation de déminéralisation:	27
III.5 Les résine échangeuse d'ion :	28
III.5.1 Mécanisme de travail de résine	31
III.5.2 Désinfection des résines :	31
III.5.3 Stockage des résines : [33].....	32
III.5.3.1 Dans leur emballage d'origine :.....	32
III.5.3.2 Dans une installation :.....	32
III.5.3.3 Protection contre les développements bactériens :.....	32
III.6 Contrôle de traitement :	33
III.7 Echangeur d'ions :	33
III.7.1 Définition et principe :.....	33
III.7.2 Description d'un échangeur d'ions :	34
III.7.3 Les caractéristiques d'un échangeur d'ions :	35
III.7.4 Classification selon la nature du regroupement fonctionnel : [36].....	36
III.8 La régénération des échangeurs d'ions :	37
III.9 Conclusion :	38

Chapitre IV : Matériel et méthode

IV.1 Introduction :	40
IV .2 Analyse des eaux :	40
IV.3 Techniques des analyses physico-chimiques des eaux :	40
IV.4 Prélèvement de l'échantillon :	41
IV.5 Mode opératoire des analyses :	41
IV.5.1 Détermination de pH :	41
IV.5.2 Détermination de TH :	42
IV.5.3 Déterminations de TA et TAC :	43
IV.5.4 Dosage des chlorures Cl :	44
IV.5.5 Dosage de phosphate P2O5:	45
IV.5.6 Dosage de silice SiO₂ :	46
IV.5.7 Détermination de la soude libre Na OH :	47
IV.5.8 Détermination de la conductivité :	48
IV.5.9 Détermination de TAF (titre d'acide fort):	49

Chapitre V : Résultats et discussion

V.1 Introduction :	51
V.2 Les résultats d'analyses :	51
V.3 Présentations graphiques est interprétation des résultats d'analyses :	52
V.3.1. L'évolution du pH :	52
V.3.2 L'évolution du TA :	53
V.3.3 L'évolution du TAC :	54
V.3.4 La Concentration du Cl :	54
V.3.5 La Concentration de la silice :	55
V.3.6 La Concentration du [Na OH];[P2O5] :	56
V.3.7.La variation de conductivité :	57
Conclusion générale :	59

Référence bibliographies

Annexe

Résumé :

L'objectif de cette étude consiste à étudier le processus de fonctionnement de traitement de l'eau de mer présents dans la centrale utilité II (Fertial-Annaba) (par utilisation des résines échangeuses d'ions), pour obtenir une eau déminéralisée très pure nécessaire pour l'alimentation. Pour cela nous avons fait un suivi des différents paramètres physico-chimique, telle que les paramètres de la dureté (TH), l'alcalinité (TA, TAC) le potentiel d'hydrogène, la silice, phosphate, la soude libre, les chlorures de l'eau déminé et l'eau d'alimentation de Chaudière. Les résultats obtenus de l'eau déminé ont permis de conclure que, le pH est nettement neutre, (TA, TAC, TH) sont nul, tous les résultats de cette eau est dans les normes. Telle que les résultats de l'eau de chaudière, on se trouve que le pH est nettement basique, par contre la concentration du chlorures et de la silice sont dans les normes, donc il n'Ya pas de risque de corrosion, on conclure par la concentration du Na OH et P₂O₅ ce qui le relie une relation de proportionnalité. Compte tenu des résultats obtenus, le procédé de déminéralisation par résine échangeuse d'ion, il nous permet d'obtenir une eau de haute qualité et conforme à la norme.

Mot clé: l'eau, déminéralisation, résine.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى التعرف على عملية معالجة مياه البحر الموجودة بالمحطة الخدمية الثانية (فرتيال-عنابة) (باستخدام راتنجات التبادل الأيوني)، للحصول على مياه منزوعة المعادن نقية جدا وضرورية للتغذية. قمنا بمراقبة الاعدادات الفيزيائية و الكيميائية المختلفة مثل معلمات الصلابة TA, TAC والقلوية TH و السليكا و الفوسفات و هيدروكسيد الصوديوم من المياه المنزوعة المعادن و مياه الغلاية. النتائج التي تم الحصول عليها من المياه منزوعة المعادن مكنت من استنتاج ان الرقم الهيدروجيني حيادي و ان TA.TAC.TH معدومة تبين ان جميع نتائج هذا الماء ضمن المعايير. بالنسبة لمياه الغلاية نجد ان pH اساسي و من ناحية اخرى تركيز الكلوريدات و السليكا ضمن المعايير لذلك لا يوجد خطر التآكل. اخيرا نتكلم عن تركيز الفوسفات و هيدروكسيد الصوديوم الذي تربطهم علاقة نسبية. نتيج لنا عملية ازالة المعادن بواسطة راتنج التبادل الايوني الحصول على مياه عالية الجودة تتوافق مع المعايير.

الكلمات المفتاحية: الماء، إزالة المعادن، الراتنج.

Abstract:

The objective of this study is to study the operating process of seawater treatment present in the utility plant II (Fertial-Annaba) (by use of ion exchange resins), to obtain a very pure demineralized water necessary for feeding. For this purpose we have followed the various physicochemical parameters, such as hardness parameters (TH), alkalinity (TA, TAC), hydrogen potential, silica, phosphate, free soda, chlorides of demined water and boiler feed water. The results obtained from the demined water allowed to conclude that, the pH is clearly neutral, (TA, TAC, TH) are zero, all the results of this water is in the standards.

Such as the results of boiler water, it turns out that the pH is clearly basic, however the concentration of chloride and silica are in the standards, so there is no risk of corrosion, the concentration of Na OH and P₂O₅ is concluded to be a relationship of proportionality. Considering the results obtained, the process of demineralization by ion exchange resin, it allows us to obtain a high water quality and conform to the standard.

Keyword: water, demineralization, resin.

Liste de Figure

Numéro du Figure	Titre du Figure	Pages
Chapitre I		
Figure 1	Organigramme de Ferial Annaba	6
Figure 2	Structure de la centrale utilité II	7
Figure 3	Procédés de dessalement de l'eau de mer	8
Figure 4	Schéma technologique de la section déminéralisation	9
Figure 5	Cycle de l'eau dans la chaudière	10
Figure 6	Production de l'entreprise	11
Chapitre II		
Figure 1	Composition chimique eau de mer naturelle	15
Figure 2	Les valeurs du titre hydrométrique (Dureté totale)	19
Chapitre III		
Figure 1	La déminéralisation en une seule image	26
Figure 2	Installation de déminéralisation dans le complexe FERTIAL Annaba	28
Figure 3	Résine échangeuse d'ions	29
Figure 4	Déca ionisation (tous les cations sont remplacés par H ⁺)	29
Figure 5	Les billes de résine sont saturées des ions H ⁺ et OH ⁻ été relâchés dans l'eau	30
Figure 6	Représentation schématique de billes de résines échangeuses de cations et d'anions	31
Figure 7	Principe de production d'une eau déminéralisée par des échangeurs d'ions	33
Figure 8	Échangeur d'ion	35
Chapitre IV		
Figure 1	Estimation du pH à l'aide de papier pH	41
Figure 2	Détermination de TH solution avant titrage (rose) après titrage (bleu)	42
Figure 3	Les indicateurs colorés	44
Figure 4	Spectrophotomètre	46
Figure 5	Conductimètre	48
Chapitre V		
Figure 1	L'évolution du pH	52
Figure 2	L'évolution du TA	53
Figure 3	L'évolution du TAC	54
Figure 4	Variations du Cl de l'eau de chaudière en fonction du temps	55
Figure 5	Variation de silice de l'eau de chaudière en fonction du temps	55
Figure 6	Variation de la soude libre de l'eau de chaudière en fonction du temps	56
Figure 7	Variation de phosphate de l'eau de chaudière en fonction du temps	57
Figure 8	Variation de conductivité de l'eau de chaudière en fonction du temps	57

Liste des Tableaux

Numéro du tableau	Titre du tableau	Pages
	Chapitre I	
Tableau 1	L'exportation de productions	12
	Chapitre II	
Tableau 1	Classification des eaux selon la salinité	16
Tableau 2	Classification des eaux selon la température	17
Tableau 3	Classification des eaux d'après leur pH	18
Tableau 4	Principales maladies d'origine hydrique et agents microbiologiques responsables	22
Tableau 5	Norme de potabilité décrite par l'OMS sur les sels	23
Tableau 6	Norme de potabilité définie par l'Algérie sur les sels	23
	Chapitre IV	
Tableau 1	Paramètres physico-chimiques étudiés et Méthodes de mesure	40
	Chapitre V	
Tableau 1	Les normes pour les chaudières à tube d'eau	51

Liste d'abréviations

NINA : nitrate, nitrique.

OMS: organisation mondiale de la santé.

PH : potentiel d'hydrogène.

TA : titre alcalimétrique.

TAC : titre alcalimétrique complet.

TH : dureté totale.

CaCO₃ : carbonate de calcium.

°F : degré français.

Cl⁻ : Chlorure.

SiO₂ : La silice.

S₂O₅ : Phosphate.

Na OH : Hydroxyde de sodium.

TAF : Titre d'acide fort.

EDTA : Sel di sodique de l'acide éthylène diamine tétra-acétique.

NET : Noir ériochrome.

MO : Méthyle orange.

HNO₃ : Acide nitrique.

Hg (NO₃)₂ : Nitrate d'argent.

H Cl : acide chloridrique.

Eg : équivalent gramme.

PE : Prise d'essai.

A decorative horizontal scroll graphic with a black outline and rounded ends. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges curving upwards at the left and right ends. The text is centered within the scroll.

INTRODUCTION GENERALE

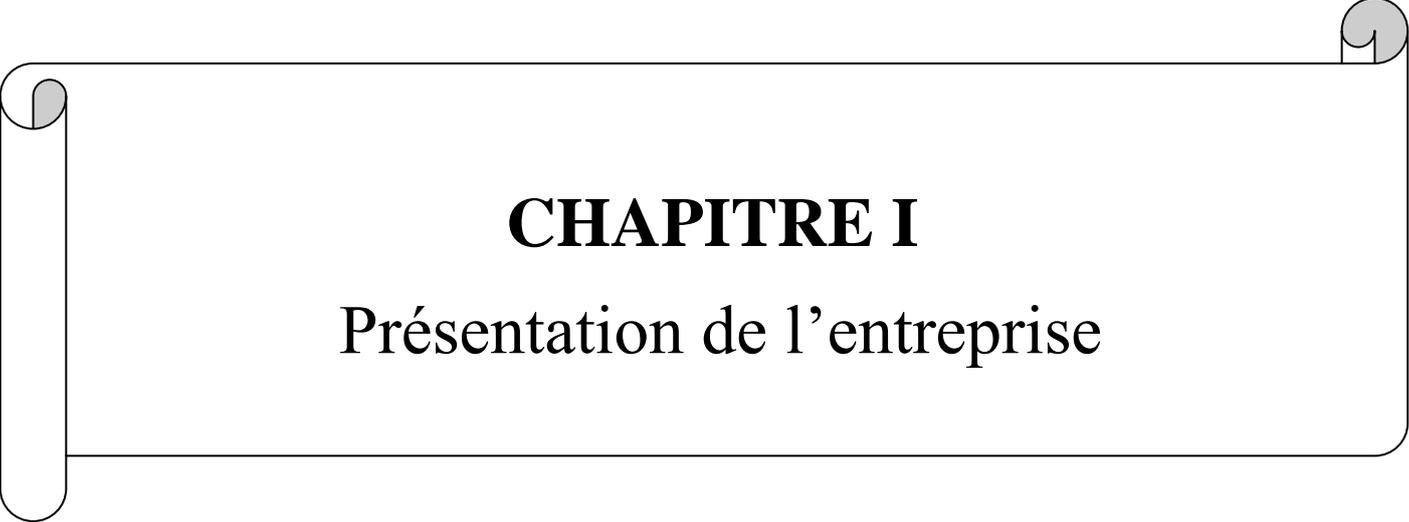
Introduction générale :

L'eau est considérée comme un aliment de base dans la vie et l'activité humaine. C'est une composante majeure des mondes minéral et organique. Dans le monde présent, nous utilisons l'eau dans tous les domaines notamment, domestiques, industrielles et agricoles ce qui la rend un élément récepteur exposé à tous les genres de pollution. Comme nous le savons la région d'Annaba contient plusieurs pôles industriels, parmi eu le complexe Fertial. C'est une société de fabrication et de commercialisations d'ammoniac et d'engrais azotés, comme toute industrie elle souhaite commercialiser des produits de bonne qualité et comme chaque produit contient de l'eau dans cette composition, il doit être de haute qualité, et c'est le sujet de notre étude. L'objectif de notre travail est basé sur l'étude de processus de traitement de l'eau de mer au niveau de la centrale d'utilité II pour l'alimentation des différentes unités du complexe Fertial, et exactement pour faire connaissance avec les paramètres de qualité visés pour l'eau déminéralisée, ces paramètres sera soutenue par des analyses effectuées sur des échantillons prélevés dans différents endroits du circuit de l'eau. Etant donné mon option du master, mon thème s'est focalisé sur l'laboratoire des analyses des eaux. Il réalise différents paramètres de qualité des eaux alimentaires, de chaudière, déminéralisée. Vu les différents types d'eaux analysés et le temps mis à analyser les nombreux paramètres de qualité, j'ai opté alors pour le suivi de la qualité des eaux déminéralisées car elles occupent une importance majeure puisque elles servent à la production (utiliser dans circuit de refroidissement et production de vapeur), car elles proviennent aussi du traitement de l'eau de mer. Ce mémoire intitulé sur l'étude de l'eau déminéralisé sur le complexe Fertial Annaba est structuré en cinq chapitres.

- Le chapitre introductif présentera l'entreprise Fertial Annaba et ses structures.
- Le deuxième chapitre est basé sur la généralité de l'eau de mer telle que des données sur les paramètres et les normes définissant la caractérisation et la qualité de l'eau.

- Le troisième chapitre se concentrera sur la déminéralisation sur résine par échange d'ions la méthode la plus couramment utilisée pour éliminer les ions indésirables de l'eau dure.
- Dans la partie expérimentale on a un chapitre qui explique la méthode et le matériel utilisé pour analyser l'eau de centrale utilité II (l'eau déminé, l'eau alimentaire, l'eau de chaudière).
- le dernier chapitre présentera les résultats d'analyse pour comprendre la variation de chaque paramètre.

En résumé, grâce à cette recherche, vous pourrez de mieux comprendre la technique de déminéralisation et connaître des solutions novatrices pour relever les défis actuels en matière de traitement des eaux.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and rounded corners on the right, framing the chapter title.

CHAPITRE I

Présentation de l'entreprise

I.1.Introduction :

Fertial parmi la plus grande compagnie pétrolière du pays, est la société issue du partenariat signé en août 2005 entre la Société des Fertilisants d'Algérie, le groupe algérien Asmidal et le groupe espagnol Villar Mir. Ils détiennent 34% et 66% du capital. L'unité de production installée dans les usines d'Annaba et d'Arzew a une capacité annuelle d'un million de tonnes d'ammoniac. Une partie de la production est recyclée pour fabriquer des engrais azotés et phosphatés. Après avoir investi plus de 170 millions de dollars américains pour renouveler les équipements de l'usine, Fertial a conquis une part de marché importante à la fois sur les marchés d'exportation et sur le marché intérieur. Ainsi, environ 74 % de la production de Fertial est constituée d'exportations, Elle se classe au 2ème rang en Méditerranée et au deuxième rang dans le monde arabe après l'Arabie Saoudite. L'est également la septième meilleure au monde. Fertial, qui figure parmi les principales entreprises produisant de l'ammoniac pour l'exportation ne reste pas en dehors du marché intérieur puisqu'elle est leader dans la production d'engrais. Ainsi, nous répondons à tous les besoins de l'agriculture algérienne dans cette région [1].

I.2.Présentation de l'entreprise Fertial :

Fertial, anciennement filiale d'Asmidal, est responsable de la production, de la commercialisation et du développement d'engrais azotés et phosphatés. Il se compose de quatre structures :

- **Structure d'ammoniac** : l'unité de production NH_3 .
- **Structure NINA** : l'unité de production de nitrate et nitrique.
- **Structure des engrais** : l'unité de NPK, unité de super simple phosphate, stockage d'acide phosphorique et acide sulfurique.
- **Structure des utilités** : l'unité de production de vapeur, électricité, eau dessalée et déminéralisée. Notre travail est localisé dans cette structure, il s'agit de l'étude du dessalement de l'eau de mer acheminée vers les trois structures citées ci-dessus.

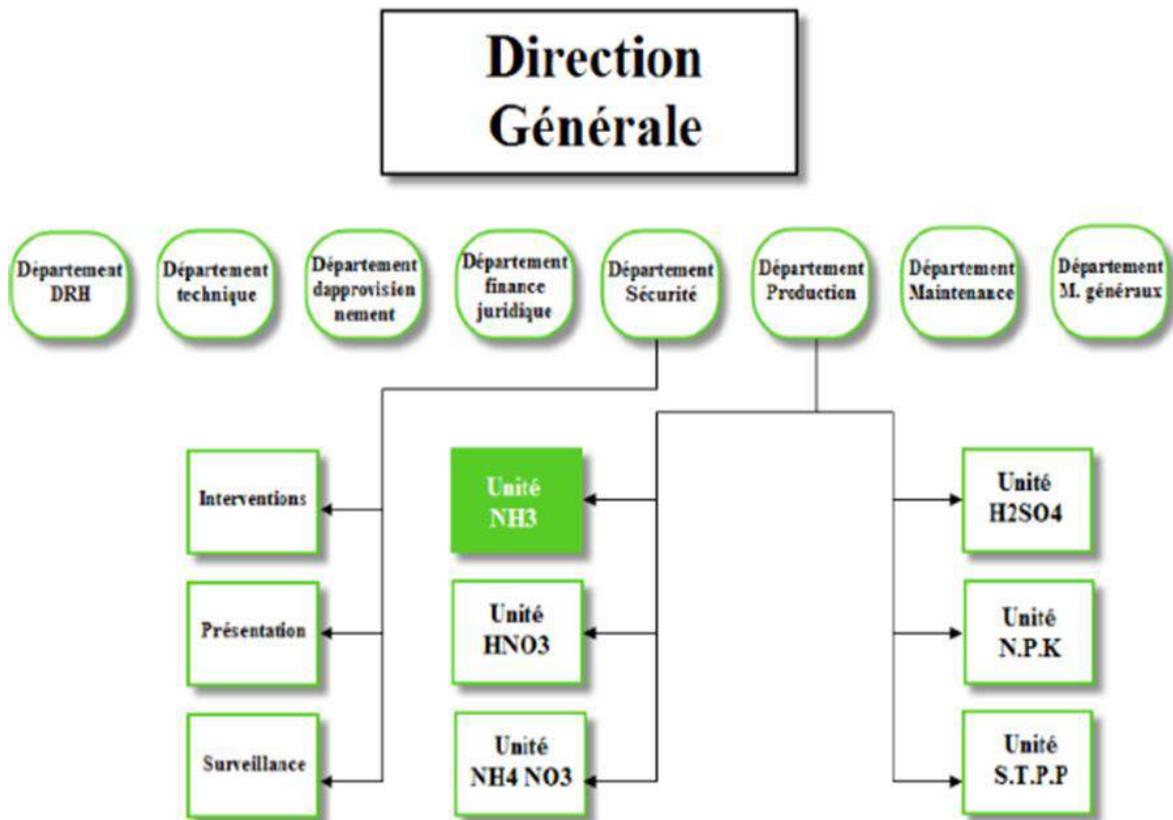


Figure I.1 : Organigramme de Fertil Annaba.

I.3.Présentation de la centrale II :

L'outil le plus important est l'outil moteur et l'outil principal pour toutes les parties de l'entreprise. Son objectif est de répondre aux besoins en infrastructures de l'usine tels que l'eau de mer, les eaux industrielles (eaux usées), les eaux usées, l'air (haute pression, basse pression), l'électricité et l'air (matériaux et services).

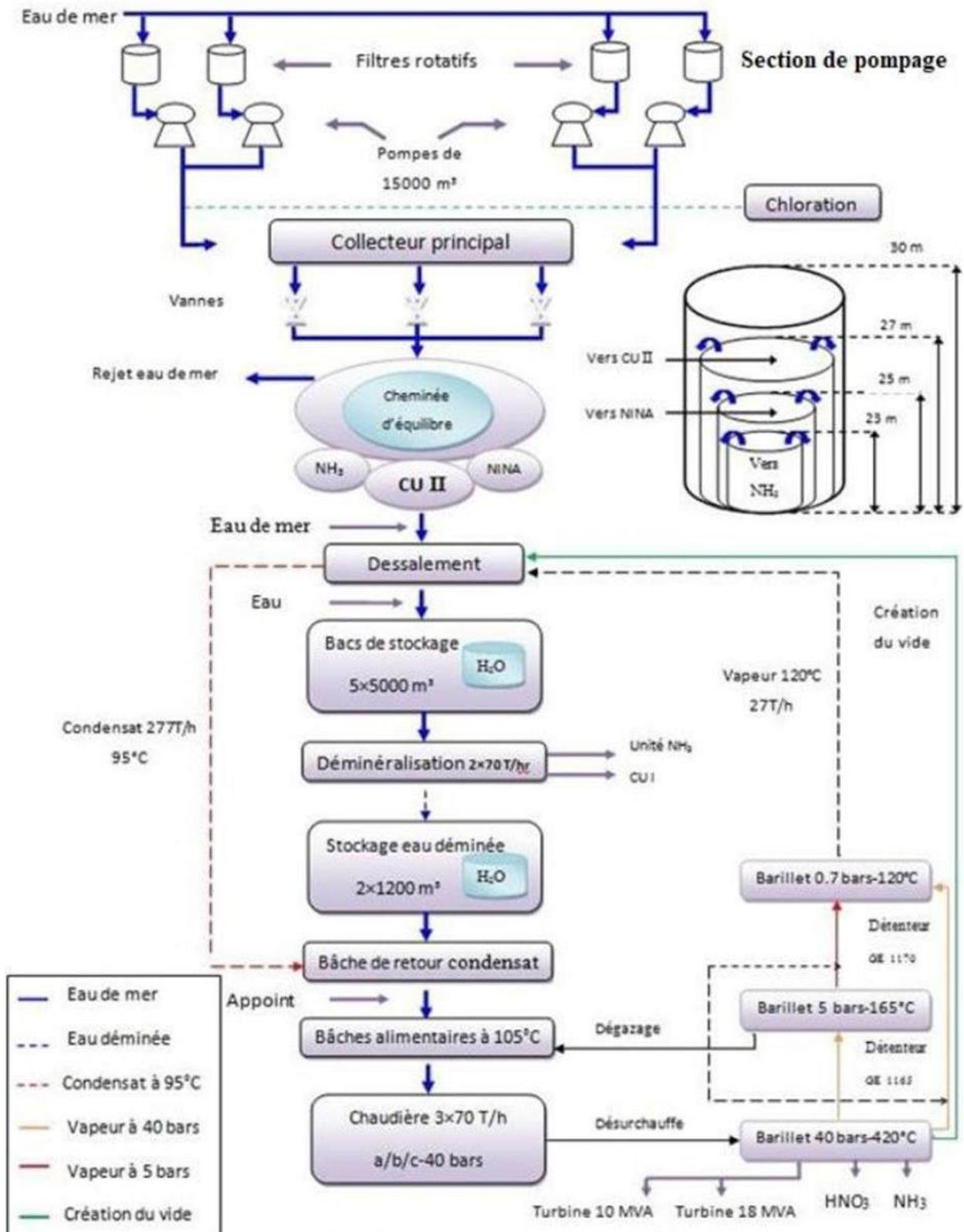


Figure I.2 : Structure de la centrale utilité II.

I.3.1. Section de pompage de l'eau de mer :

Cette unité est destinée à alimenter cette installation en eau de mer préalablement purifiée et traitée pour des usages spécifiques. L'eau de mer subit une série de traitements primaires : criblage, dessalement, filtration, chloration et stabilisation.

I.3.2. Section de dessalement de l'eau de mer (SIDEM) :

Cette partie vise à réduire la conductivité de l'eau de mer en dessous de 8 $\mu\text{S}/\text{cm}$. L'eau de mer fournie par la cheminée horizontale produira quatre gaz dans cette section (**Fig. I.3**). Trois flash (distillation sous vide) similaires et saumure circulante d'une capacité de 4700 m^3 eau distillée dont la siccité est inférieure ou égale à trois ppm ; et un autre type de thermo compression (distillation et compression sous pression). La capacité de production est de 210 m^3 /heure d'eau distillée. L'unité de dessalement se compose de deux filtres, 20 cellules de dessalement, trois pompes à eau et une pompe de circulation de saumure, un réchauffeur, deux fers à repasser pour maintenir le vide et trois réservoirs de purification. Pour le stockage, la station de dessalement dispose de cinq réservoirs d'une capacité de 5000 m^3 .

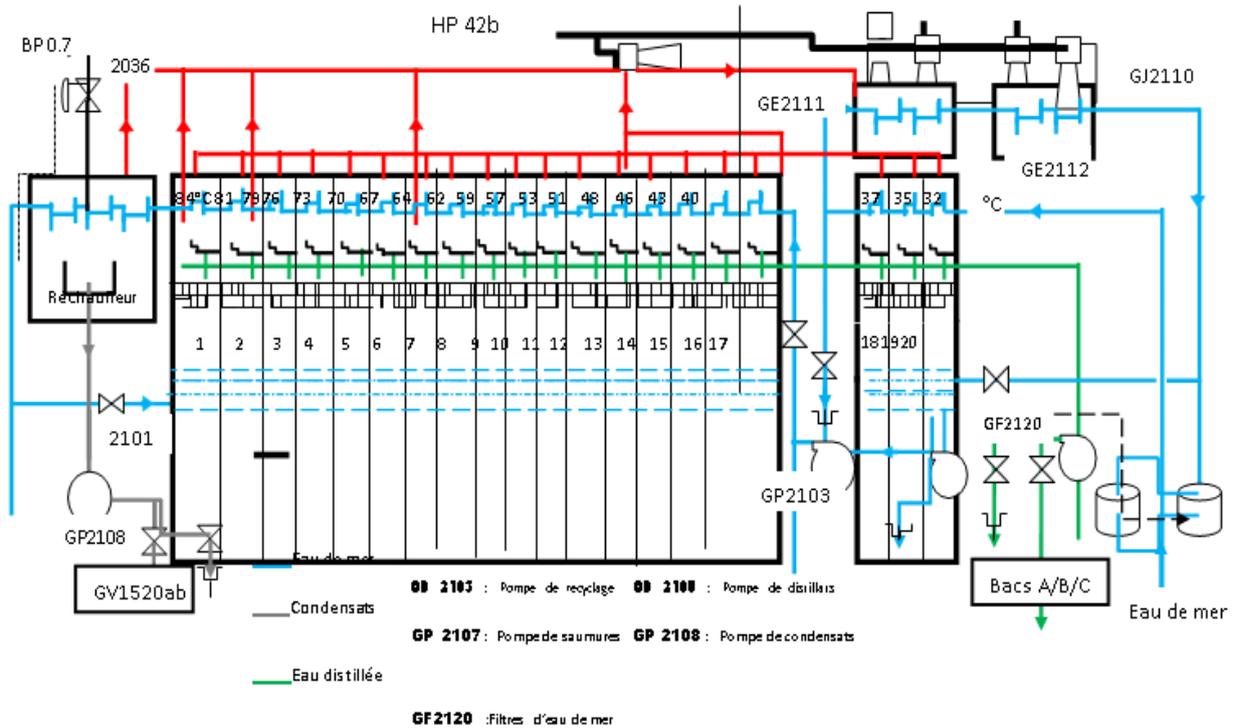


Figure I.3 : Procédés de dessalement de l'eau de mer.

I.3.3. Section de déminéralisation :

Les eaux usées sont stockées dans trois réservoirs d'une capacité de 5000 m³ (Fig. I.4) contenant du sel. Elle est ensuite envoyée vers la déminéralisation, qui consiste principalement en deux chaînes de purification de l'eau ; chacun se compose d'un filtre à charbon actif et d'un lit mélangé d'échangeurs d'ions (cations et anions). La chaîne purifie un débit de 70 m³/h [2]. La déminéralisation permet d'obtenir une eau de haute qualité stockée dans des réservoirs d'un volume de 1200 m³ pour une utilisation dans différentes parties de l'installation et de garantir la fourniture d'électricité régulée par une pression inférieure ou égale à 1 µS/1000 m³, en la situation où la qualité de l'eau dépassait la valeur de la chaîne a été éliminée. Après séparation de la phase résine, elle est conforme et est traitée par une solution de soude (Na OH) puis traitée par de l'acide sulfurique (H₂SO₄).

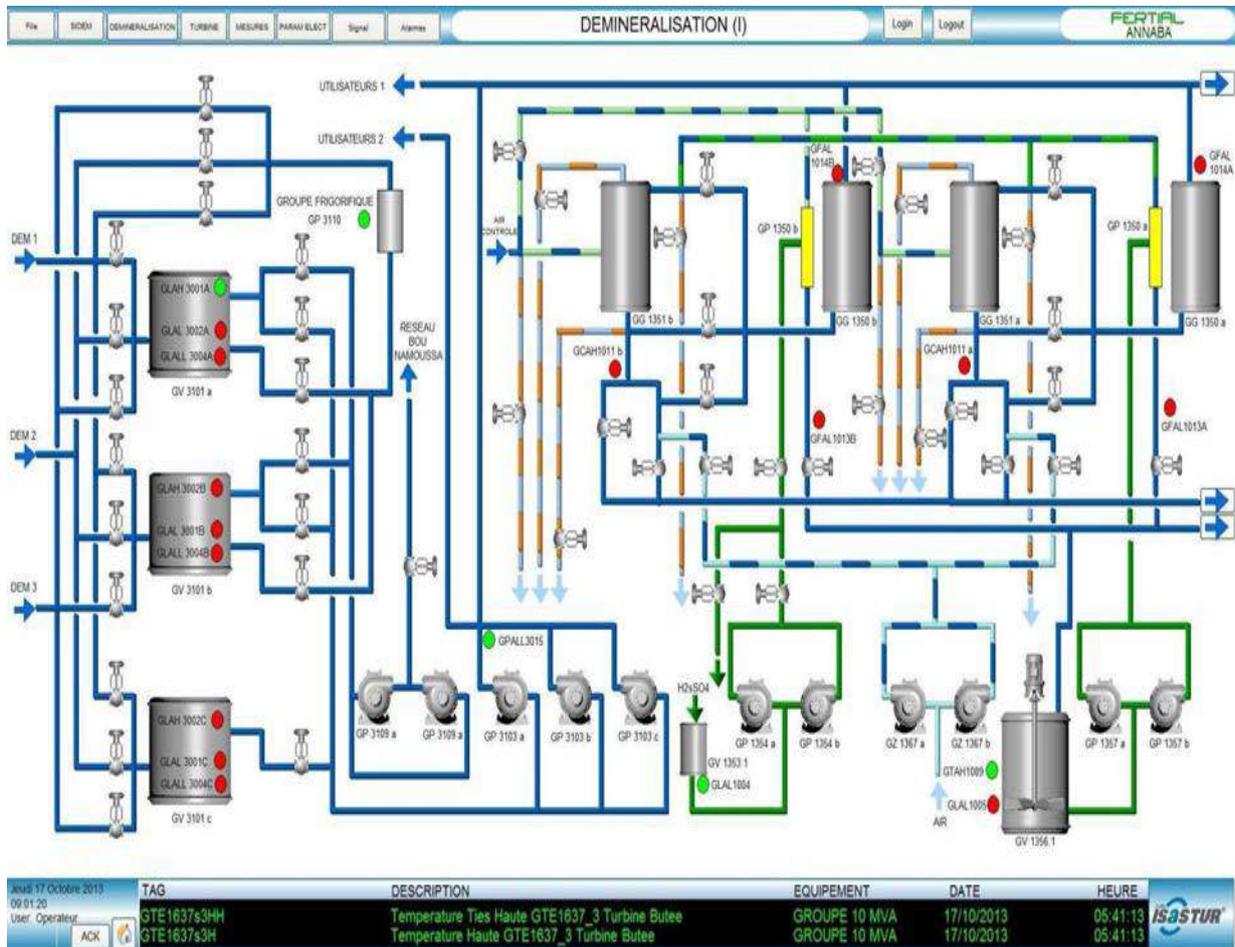


Figure I.4 : Schéma technologique de la section déminéralisation.

I.3.4. Section de la production de la vapeur (chaudière) :

Cette unité est composée de trois appareils, deux de type ultrasonique BABCOCK et le troisième de type Kecal régulier (**FigI.5**). L'eau d'échappement est prélevée du réservoir d'alimentation à 80°C et envoyée au réservoir supérieur de la chaudière via l'économiseur de fumées avec la pompe d'alimentation à 60 bars de pression, afin d'économiser l'énergie restante. Avant que les fumées ne passent par la cheminée. L'eau d'alimentation passe par la colonne d'alimentation pour remplir le réservoir inférieur puis les tubes d'évaporation (tubes tamis).

Le réservoir du poêle est rempli à 50 % du niveau de stockage. Ensuite, le brûleur situé au bas du fer s'allume et le gaz brûle pour produire de l'air. De la chaleur est dégagée (réaction exothermique). 80 % de cette énergie est absorbée par l'eau et les radiations ; Par conséquent, l'eau passe de l'état liquide à l'air et est collectée dans la lampe supérieure jusqu'à une pression de 40 bars et une température de 250°C. Cette vapeur passe par un surchauffeur et est portée à 420°C (par convection) puis stockée dans des conteneurs pour être utilisée dans différentes parties [3].

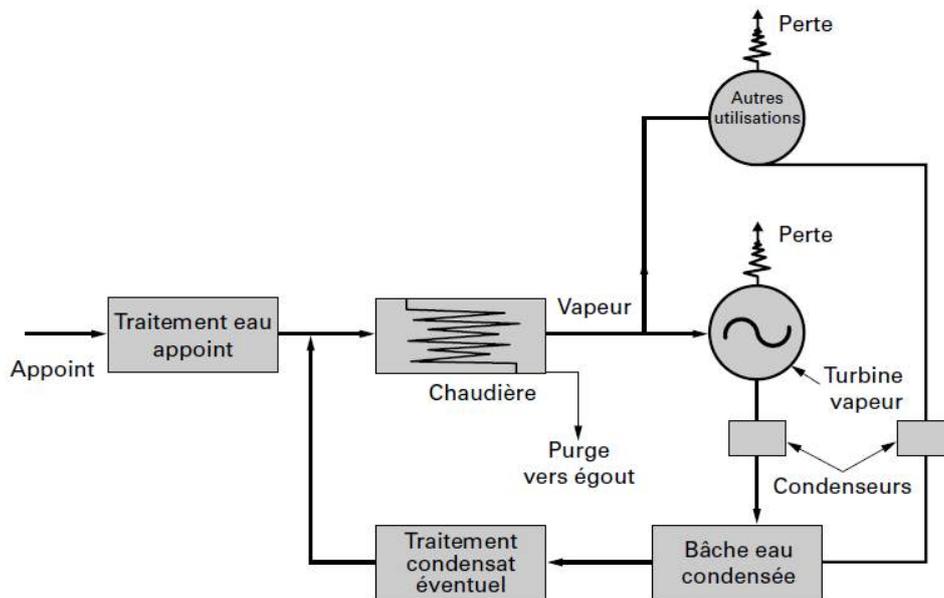


Figure I.5 : Cycle de l'eau dans la chaudière.

I.3.5 Section turbo alternateurs :

Une partie de la haute tension passe par une turbine, qui convertit le pour produire de l'électricité. Il existe deux groupes :

- alternateur 10 MVA Turbo.
- alternateur 18 MVA Turbo.

I.3.6 Section d'air comprimé (compresseur) :

Cette unité se compose d'un compresseur à trois étages à double effet dont la tâche est de maintenir l'air de 1 à 8. L'unité est utilisée comme air de fonctionnement dans diverses unités avec une pression de 1070 Nm³/h par unité. Une partie de cet air passe à travers un filtre à air contenant des granules d'oxyde d'aluminium Al₂O₃ pour absorber les gouttelettes d'eau présentes dans l'air sec , Des équipements permettant de surveiller différents paramètres sont fournis en les stockant dans un réservoir qui sera utilisé dans zones différentes de l'installation.

I.4 Production de l'entreprise :

Les différents produits fabriqués sont regroupés dans la (Fig. I.6).

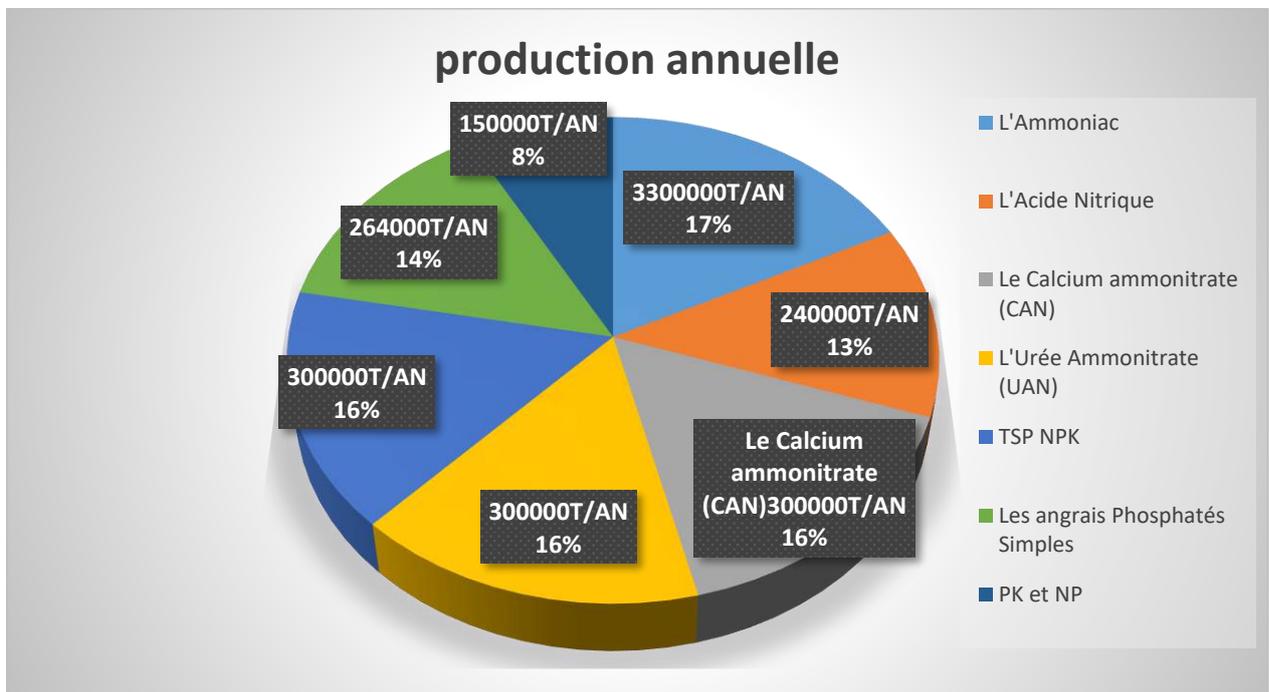


Figure I.6. Production de l'entreprise.

Production	Pays
NH₃	Espagne, France, Italie, Grèce, Belgique et Cuba
Nitrate	Grande Bretagne
UAN	Tunisie et Maroc
SSP	Espagne, France, Italie, Grèce, Maroc, USA et Brésil

Tableau I.1: L'exportation des productions.

I.5 Conclusion :

La présentation du complexe Fertial a permis de situer la tâche que nous devons accomplir, à savoir étudier l'arrivée de l'eau de mer au complexe avec des conditionnements tels que cités ci-dessus. Les différentes étapes de prétraitement de cette eau seront décrites scrupuleusement dans les prochains chapitres.

CHAPITRE II

Propriétés ou généralité sur l'eau de mer

II.1 Introduction :

L'eau recouvre 72% de la surface du globe pour un volume total estimé à 1400 millions de Km³. Dans ce chapitre, nous parlerons de manière approfondie la composition de l'eau de mer nous explorerons les propriétés physico-chimiques qui caractérisant l'eau de mer ,parmi eux la salinité, la densité et le pH ,ainsi que les paramètres organoleptiques qui influence son gout et son odeur nous l'avons également mentionné les éléments microbiologique de l'eau de mer incluant les organismes présents et leur influence sur sa qualité et enfin nous examinerons les normes de potabilité relatives aux sels présents dans l'eau de mer.

II.2 L'eau de mer :

L'eau de mer est l'eau salée des milieux marins et océaniques. Elle est une solution saline dont la concentration des sels minéraux dissous avoisine 35 parties pour mille (35 g/L) en moyenne. Il a une densité de surface moyenne est de 1,025 g/ml, étant plus dense que l'eau douce et l'eau pure. L'eau de mer est une solution dans l'eau H₂O de nombreuses substances dissoutes différentes. Jusqu'à 2/3 des éléments chimiques naturels sont présents dans l'eau de mer, bien que la plupart ne trace que. Six composants, tous des ions représentent plus de 99 % de la composition du soluté. Les chlorures en sont à plus de 55 % à l'origine, avec le chlorure de sodium Na Cl (sel de cuisine), mais elle contient aussi des sulfates, des bicarbonates, des bromures et du Fluor parmi les anions, et parmi les cations, du sodium (plus de 30 %), du magnésium, du calcium, du potassium, du strontium, et l'acide borique comme molécule non dissociée[4].

II.3. Composition de l'eau de mer

Il faut en effet savoir que l'eau de mer, ce n'est pas uniquement de l'eau salée. Cette solution se compose à 96,5 % d'eau pure et 3,5 % de sels et gaz dissous. Mais parmi ces derniers, il Ya d'autres composants que l'on retrouve dans la (**Fig. II.1**). À ces composants il faut ajouter les principaux gaz dissous : azote (64 %), oxygène (34 %), dioxyde de carbone (CO₂) (1,8 %).

De manière générale, la composition de l'eau de mer est variable d'une région à une autre, ça varie aussi au cours du temps. Car il s'agit d'un système ouvert, soumis à des flux entrants qui apportent certains éléments (rivières, eau de pluie, dépôts volcaniques, sources hydrothermales), et à des flux sortants, souvent représentés par le terme de « puits » (minéralisation, diagenèse des sédiments, évaporation, processus biologiques) [5].

composition de l'eau de mer naturelle					
Element	ppm	Element	ppm	Element	ppm
1 Chlore, Cl	19 250	31 Antimoine, Sb	0,00024	61 Cérium, Ce	1 x 10 ⁻⁶
2 Sodium, Na	10 680	32 Krypton, Kr	0,0002	62 Dysprosium, Dy	9 x 10 ⁻⁷
3 Magnésium, Mg	1 284	33 Sélénium, Se	0,0002	63 Erbium, Er	8 x 10 ⁻⁷
4 Soufre, S	905	34 Néon, Ne	0,00012	64 Ytterbium, Yb	8 x 10 ⁻⁷
5 Calcium, Ca	412	35 Manganèse, Mn	0,0001	65 Gadolinium, Gd	7 x 10 ⁻⁷
6 Potassium, K	391	36 Cadmium, Cd	0,0001	66 Praséodyme, Pr	6 x 10 ⁻⁷
7 Brome, Br	67	37 Cuivre, Cu	0,0001	67 Scandium, Sc	6 x 10 ⁻⁷
8 Carbone, C	28	38 Tungstène, W	0,0001	68 Etain, Sn	6 x 10 ⁻⁷
9 Azote, N	11,5	39 Fer, Fe	0,000056	69 Holmium, Ho	2 x 10 ⁻⁷
10 Strontium, Sr	7,94	40 Xénon, Xe	0,00005	70 Lutécium, Lu	2 x 10 ⁻⁷
11 Oxygène, O	6	41 Zirconium, Zr	0,00003	71 Thulium, Tm	2 x 10 ⁻⁷
12 Bore, B	4,4	42 Bismuth, Bi	0,00002	72 Indium, In	1 x 10 ⁻⁷
13 Silicium, Si	2	43 Niobium, Nb	0,00001	73 Terbium, Tb	1 x 10 ⁻⁷
14 Fluor, F	1,3	44 Thallium, Tl	0,00001	74 Palladium, Pd	5 x 10 ⁻⁸
15 Argon, Ar	0,43	45 Thorium, Th	0,00001	75 Samarium, Sm	5 x 10 ⁻⁸
16 Lithium, Li	0,176	46 Hafnium, Hf	7 x 10 ⁻⁶	76 Tellure, Te	1 x 10 ⁻⁸
17 Rubidium, Rb	0,12	47 Hélium, He	6,8 x 10 ⁻⁶	77 Europium, Eu	1 x 10 ⁻⁸
18 Phosphore, P	0,06	48 Béryllium, Be	5,6 x 10 ⁻⁶	78 Radium, Ra	7 x 10 ⁻¹¹
19 Iode, I	0,06	49 Germanium, Ge	5 x 10 ⁻⁶	79 Protactinium, Pa	5 x 10 ⁻¹¹
20 Baryum, Ba	0,017	50 Or, Au	4 x 10 ⁻⁶	80 Radon, Rn	6 x 10 ⁻¹⁶
21 Molybdène, Mo	0,01	51 Rhénium, Re	4 x 10 ⁻⁶		
22 Arsenic, As	0,0037	52 Cobalt, Co	3 x 10 ⁻⁶		
23 Uranium, U	0,0032	53 Lanthane, La	3 x 10 ⁻⁶		
24 Vanadium, V	0,0025	54 Néodyme, Nd	3 x 10 ⁻⁶		
25 Titane, Ti	0,0008	55 Plomb, Pb	2 x 10 ⁻⁶		
26 Zinc, Zn	0,00048	56 Argent, Ag	2 x 10 ⁻⁶		
27 Nickel, Ni	0,00047	57 Tantale, Ta	2 x 10 ⁻⁶		
28 Aluminium, Al	0,00035	58 Gallium, Ga	2 x 10 ⁻⁶		
29 Césium, Cs	0,00034	59 Yttrium, Y	1,3 x 10 ⁻⁶		
30 Chrome, Cr	0,00025	60 Mercure, Hg	1 x 10 ⁻⁶		

Références:

- Bearman G., *Ocean chemistry and deep-sea sediments*, Pergamon, 1989.
- Pilson M. E. Q., *An Introduction to the Chemistry of the Sea*, Prentice-Hall, 1998.

www.aquaportail.com

Figure II.1: composition chimique eau de mer naturelle.

II.4. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer :

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

II.4.1. Salinité :

C'est le caractère essentiel de l'eau de mer. L'océan contient en moyenne 35 grammes de sel par kilogramme d'eau de mer. La présence de sel dans l'eau modifie certaines de ses propriétés telles que la densité, la compressibilité, le point de congélation, la température du maximum de densité, alors que d'autres comme la viscosité, l'absorption de la lumière ne sont pas influencées de manière significative. Enfin certaines sont essentiellement déterminées par la quantité de sel dans l'eau (conductivité, pression osmotique). On considère le chlorure de sodium (Na Cl) n'est qu'un des très nombreux sels composant l'eau de mer [6]. Il n'existe pas une mais plusieurs définitions de la salinité : une définition purement théorique et plusieurs définitions pratiques, liées aux méthodes de mesure [6].

II.4.1.1. Définition théorique :

La salinité est la quantité totale des résidus solides (en grammes) contenu dans 1 kg d'eau de mer. Quand tous les carbonates ont été transformés en oxydes, le brome et l'iode remplacé par le chlore et que toute la matière organique a été oxydée, il est très difficile d'estimer la salinité par analyse chimique directe (séchage et pesée du résidu solide), car certains corps présents, notamment les chlorures, s'échappent au cours du dernier stade de séchage. On utilise le fait que, dans l'eau de mer, les proportions relatives des principaux constituants sont pratiquement constantes. Le dosage de l'un d'entre eux est donc susceptible de donner la teneur de tous les autres, ainsi que la salinité, Les ions [6].

Type d'eau	Salinité (mg/L)
Eau douce	< 500
Eau légèrement saumâtre	1 000 – 5 000
Eau modérément saumâtre	5 000 – 15 000
Eau très saumâtre	15 000 – 35 000
Eau de mer	35 000 – 42 000

Tableau II.1: Classification des eaux selon la salinité.

II.4.2 La densité :

La densité est une propriété importante dans l'eau de mer. Il est déterminé en utilisant l'équation internationale de l'état de l'eau de mer à la pression atmosphérique, qui est formulée par l'Unesco (documents techniques de l'UNESCO en sciences de la mer, 1981) à partir des travaux effectués au cours de ^e siècle. Les variables thermodynamiques de l'eau de mer : densité, pression, salinité et température [4]. La densité de l'eau de mer typique (eau salée avec 3,5 % de sels dissous) est habituellement de 1,02819 kg/L à -2 °C, 1,02811 à 0 °C, 1,02778 à 4 °C, etc.

II.4.3. La température :

La température de l'eau est un facteur écologique important dans l'environnement aquatique. Sa connaissance doit être précise car elle joue un rôle dans la solubilité des sels dissous et surtout des gaz, donc sur la conductivité électrique et du la détermination du pH [7].

Elle agit aussi comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau [8]. L'eau de mer est, en général, plus ou moins froide suivant la latitude. Chaude à l'Équateur (26°C en surface dans l'océan, plus de 30°C dans les mers intérieures l'été), froide aux pôles (1 à 3°C) en surface. L'océan Indien à latitude égale est plus chaud que l'Atlantique. A la même latitude dans un même océan les températures sont différentes [9].

Température °C	Type d'eau
$T < 30$	Minérale, source
$20 < T < 30$	Méso thermale
$30 < T < 50$	Thermale
$T < 50$	Hyperthermale

Tableau II.2 : classification des eaux selon la température [11].

II.4.4 La conductivité :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² ; elle s'exprime en siemens par mètre (S/m) ou en sous unités micro-siemens par centimètre (μS/cm) pour les eaux naturelles [11].

II.4.5 Potentiel d'hydrogène (pH):

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est -à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H⁺). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons [12].

pH<5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux Naturelles
pH=7	pH Neutre
7<pH<8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
5,5<pH<8	Majorité des eaux souterraines
pH=8	Alcalinité forte, évaporation intense

Tableau II.3 : Classification des eaux d'après leur pH [13].

Le pH des eaux de mer et d'estuaire doit se situer entre 7,0 et 8,7, à moins qu'il puisse être montré qu'un pH inférieur ou supérieur à cette plage est attribuable à des processus naturels. À l'intérieur de cette gamme, le pH ne doit pas présenter un écart de plus de 0,2 unité par rapport au pH naturel attendu au moment du prélèvement. Lorsque le pH est naturellement inférieur ou supérieur à cette plage, les activités humaines ne doivent pas déterminer un écart de plus de 0,2 unité par rapport au pH naturel prévu au moment du prélèvement, et toute variation doit rapprocher le pH de la gamme recommandée [14].

II.4.6 La dureté (TH):

La dureté de l'eau est la mesure de la teneur en calcium et magnésium contenue dans l'eau. Ces deux éléments forment ensemble du carbonate de calcium, notre corps a besoin de calcium (Ca) et de magnésium (Mg). Le principal problème d'une dureté globale élevée de l'eau est que des dépôts peuvent se former dans les canalisations, les rendant moins efficaces. Si l'eau est très dure, cela peut également entraîner une diminution de l'efficacité des savons et produits de nettoyage et une altération du goût de l'eau [15].



Figure II.2: Les valeurs du titre hydrométrique (Dureté totale).

II.4.7 Le Titre Alcalimétrique (TA) :

Il permet de déterminer la teneur en hydroxydes (OH^+), la moitié de la teneur en carbonate CO_3^{-2} et environ un tiers des phosphates présents [16].

II.4.8 Le Titre Alcalimétrique Complet (TAC) :

Elle correspond à la teneur en ions OH^- , CO_3^{-2} et HCO_3^- pour une valeur de pH inférieure à 8,3 la teneur en ions OH^- et CO_3^{-2} est négligeable dans ce cas de mesure ($\text{TA} = 0$) du TAC. Correspond uniquement au dosage des bicarbonates [17].

II.4.9 Les Chlorures (Cl^-):

Le chlorure est un anion inorganique important à des concentrations variables dans l'eau naturelle, généralement sous la forme de sels de sodium (Na Cl) et de potassium (K Cl). Ils sont couramment utilisés comme indices de pollution et ont des effets sur la flore et la faune aquatiques ainsi que sur la croissance des plantes. Le chlorure est présent à des niveaux variables dans presque toutes les eaux [18].

II.4.10 La silice (SiO_2) :

La silice est présente dans l'eau à l'état dissous ou colloïdal. Les plans d'eau des régions granitiques peuvent contenir des dizaines de milligrammes pour litres. Il faut le retirer de l'eau de chaudière car il forme des croûtes sur les parois [19].

II.4.11. Phosphate :

La source naturelle des phosphates est due à la désintégration de la matière vivante, à la dissolution des sels de phosphate, des engrais, des détergents et des industries chimiques.

Les ions phosphate dans l'eau se présentent sous différentes formes selon les valeurs de pH du milieu.

L'eau naturelle a un pH de (8-5). Contient des ions mono phosphate (HP_4^{2-}) et dihydrogène (H_2PO_4^-). Le phosphate de métal alcalin se dissout bien dans l'eau et la solubilité des autres métaux varie en fonction de la qualité de l'ion métallique. La plupart des composés phosphorés sont chimiquement très stables. Autrement dit, il ne se désintègre pas rapidement. Il reste longtemps dans le sol et dans l'eau. L'OMS spécifie la concentration maximale acceptable dans l'eau potable de 5mg/l phosphate calculée sur la base de la formule du pentoxyde de phosphate (P_2O_5). La forte concentration de phosphate dans l'eau potable provoque des vomissements et des diarrhées chez les humains et les animaux [20][21].

II.5 Paramètres organoleptiques :

II.5.1 Couleur :

Pour l'eau potable, le degré de couleur maximale acceptable est de 15 UCV. Elle peut être due à certaines impuretés minérales (fer) mais également à certaines matières organiques acides. Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire [22].

La couleur de l'eau peut retrouver son origine naturelle (présence de fer et de manganèse dans les eaux profondes, de substances humiques dans les eaux de surface) .Être une des conséquences du développement excessif d'algues et de plancton des lacs, étangs, barrages,...etc. Ou avoir une origine industrielle chimique (colorants des tanneries et de l'industrie textile d'impression et teintures) [23].

II.5.2 Odeur et saveur :

On peut dire que l'un des signes de la pollution est l'odeur d'eau et ses causes la présence de matières organiques en décomposition en quantité souvent si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse. Le sens olfactif peut seul, dans une certaine mesure, les déceler. Toute eau possède une certaine saveur qui lui est propre et qui est due aux sels et aux gaz dissous. Si elle renferme une trop grande quantité de chlore, l'eau aura une saveur saumâtre, si elle contient de forte quantité de sels de magnésium, l'eau aura un goût amer [23].

II.5.3 Turbidité :

La présence de particules en suspension peut provoquer une turbidité dans l'eau et l'un de ses particules : (colloïdales, argiles, limons, grains de silice, matières organiques), la pluviométrie joue un rôle important vis-à-vis de ce paramètre dans les eaux superficielles et souterraines selon leur origine [24].

II.6. Paramètres microbiologiques :

Naturellement, des microorganismes peuvent se retrouver dans l'eau, comme des bactéries, de virus, des protozoaires... dont certains sont pathogènes pour l'homme. Dans les pays occidentaux, les problèmes liés à leur présence sont bien maîtrisés grâce aux contrôles de la qualité microbiologique de l'eau de distribution et aux traitements de désinfection systématisés dès le début du XXe siècle. La qualité microbiologique de l'eau est évaluée en mesurant la présence de bactéries indicatrices de contamination fécale. Dans les eaux de surface, elles sont naturellement présentes en plus grand nombre que dans les eaux souterraines. La législation actuelle impose l'absence (0 unité formant colonies/100 ml) de ces bactéries indicatrices dans l'eau de distribution, ce qui nécessite des traitements de désinfection. Le processus de chloration est considéré comme l'une des processus les plus importants utilisés à grande échelle et reste le plus couramment utilisé à ce jour. Les produits chlorés sont efficaces, faciles à utiliser, et demeurent actifs jusqu'au robinet du consommateur [25].

Origine	Maladies	Agents pathogènes
Parasitaire	Dysenterie amibienne	Gastro-entérites
	Gastro-enterites	Giardia lamblia Cryptosporidium parvum
Bactérienne	Fievrestyphoide et paratyphoide	Salmonella typhi Salmonella paratyphi A et B
	Dysenterie bacillaire	Shigella
	Cholera	Vibrio cholerae
	Gastro-enterites	Escherichia coli enterotoxinogene Campylobacter jejuni Yersinia enterocolitica
Virale	Hépatites A et E	Virus hépatite A et E
	Poliomyélite	Virus poliomyélique
	Gastro-entérites	Rota virus Entérovirus Calicivirus Adenovirus...

Tableau II.4: Principales maladies d'origine hydrique et agents microbiologiques responsables [26].

II.7. Norme de potabilité sur les sels :

Les normes de potabilité d'une eau diffèrent selon la législation des pays. **Le Tableau II.5** : ci-dessous présente les normes définies par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) (l'Organisation mondiale de la santé 2008) concernant la salinité totale et les différents sels présents dans l'eau.

Paramètres	Normes
Turbidité (NTU)	< 1
pH	6,5 _ 9.5
Conductivité ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	180 1000 à 20°C
Dureté totale ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ CaCO_3)	200
Calcium ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	-
Magnésium ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0,4
Sodium ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	200
Chlore ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	250
Aluminium ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0,2
Fer ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0,3
Cuivre ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	1,0
Zinc ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	3,0
Manganèse ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0,1
chlorite résiduel ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0,6-1,0
Sulfates ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	250
Bore ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0,5

Tableau II.5 : Norme de potabilité décrite par l'OMS sur les sels.

Paramètres	Normes
Turbidité (NTU)	1-2
PH	6,5-8,5
Conductivité ($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$)	2800 à 25°C
Dureté totale ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ CaCO_3)	200
Calcium ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	75-200
Magnésium ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0,4
Sodium ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	200
Chlore ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	200-500
Aluminium ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0,2
Fer ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0,3
Cuivre ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0,05-1,5
Zinc ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	1-5
Manganèse ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0,5
Chlorite résiduel ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	-
Sulfates ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	200-400
Bore ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0,3

Tableau II.6 : Norme de potabilité définie par l'Algérie sur les sels.

II.8. Conclusion :

Grace à notre étude de la composition de l'eau de mer et notre connaissance de l'importance de cet élément fondamental pour notre planète, nous avons pu dans ce chapitre donner un aperçu de la détermination des normes de consommations des sels de la mer, ainsi que de l'importance de maintenir sa qualité pour obtenir des systèmes sains, environnemental et marin.

CHAPITRE III

Déminéralisation sur résine

III.1 Introduction :

La déminéralisation de l'eau est une étape essentielle dans de nombreux domaines industriels et de traitement de l'eau, où elle permet d'éliminer les minéraux et les impuretés dissoutes pour obtenir une eau déminéralisée de grande pureté. L'un des principaux processus de déminéralisation, l'utilisation de résines échangeuses d'ions, est l'objet de ce chapitre.

III.2 La déminéralisation :

La déminéralisation de l'eau, aussi connue sous le nom de dés ionisation de l'eau, implique l'élimination des sels et des minéraux présents naturellement dans l'eau. La déminéralisation de l'eau donne naissance à une eau appelée déminéralisée ou dés ionisée, qui ne renferme ni sels ni minéraux et présente une conductivité électrique faible. La déminéralisation de l'eau est employée pour l'eau destinée à des utilisations spécifiques. [27]

La déminéralisation peut donc être schématisée dans l'image suivante :

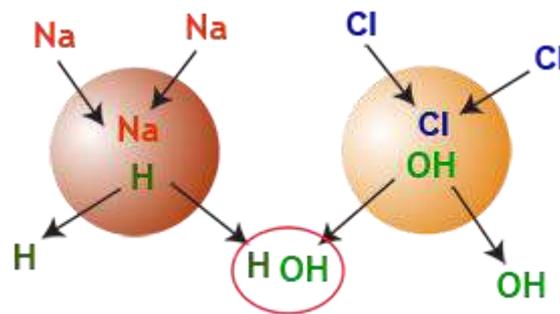


Figure III.1 : La déminéralisation en une seule image. [28]

III.2.1 Définition de l'eau déminée :

L'eau déminéralisée est une eau qui, en principe, ne contient plus aucun ion en solution (tels que Ca^{2+} ou HCO_3^- ...) ni, non plus, aucune substance minérale neutre dissoute (hydroxydes d'aluminium ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ou de fer(III) ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), silice dissoute ($\text{Si}(\text{OH})_4$)...), comme son nom le laisse croire.[29]

III.2.2 Caractéristique de l'eau déminéralisée :

- 1. Neutralité de pH :** en principe l'eau déminéralisée a un pH neutre (pH =7) car tous les ions ont été éliminés par déminéralisation.
- 2. Faibles conductivités électriques :** L'eau déminéralisée a une conductivité électrique très faible (inférieure à 1) en raison de la quasi-absence d'ions dissous.
- 3. Pas de gout ou d'odeur :** l'eau déminéralisée est souvent décrite comme ayant un goût et une odeur neutres. Par ce que les ions responsables tels que le chlore ou le sulfate ont été éliminés.
- 4. La corrosion :** En raison de son manque d'ions qui agissent comme inhibiteurs de corrosion, l'eau déminéralisée peut être plus corrosive que l'eau ordinaire.

III.3 Les techniques de déminéralisation :

III.3.1 L'Osmose Inverse :

Est adaptée aux différentes formes de salinité (jusqu'à l'eau de mer) et offre une plage de débit très étendue, allant de quelques litres par heure à des centaines de mètres par heure [30].

III.3.2 Distillation :

Un procédé destiné aux utilisations en laboratoire ou en milieu industriel. L'évaporateur d'une chaudière à vide en cascade contient de l'eau de mer [30].

III.3.3 La résine échangeuse d'ions :

Est utilisée uniquement pour des eaux relativement saines, jusqu'à environ 2g par litre, et a l'inconvénient d'utiliser des produits chimiques corrosifs tels que l'acide et la soude, mais elle peut également donner des eaux très pures [30].

III.4 Fonctionnement de l'installation de déminéralisation:

L'eau à traiter provient de L'eau de mer est distillée et atteint l'unité via un collecteur à 33°C, 5 bars de pression. Alimenté par 3 pompes. Pour chaque chaîne sortant du lit mélangé, un débit de 30-40 ou 70 m³/h peut être obtenu : Deux vannes pneumatiques dont deux commandées par des électrovannes EV 218 L'un est déclenché par une sélection sur le panneau et l'autre est contrôlé directement par la boucle. La vanne est ouverte ou fermée en positionnant l'interrupteur dans Les tables font respectivement 30 ou 70 m³ /h. Les filtres à charbon actif sont nettoyés régulièrement une fois par semaine pour Si le manomètre l'indique, désossez le lit, ou plus fréquemment si nécessaire Le différentiel GPS 1012 indique

une perte de pression de 0,8 bar à travers le lit filtrant, ce Le nettoyage est effectué manuellement grâce à l'action de la vanne à volant [31]. Les mesures de conductivité à la sortie de chaque lit mélangé permettent de contrôler la fin réelle Période (signal sur panneau et alarme correspondante). - La régénération du lit mélangé se base sur ces deux signaux et Exigences de production d'eau.

Chaque lit mélangé a sa propre régénération de mélange Les cycles permettent un contrôle manuel des différentes phases d'arrêt production et reproduction, La position d'attente de production-régénération des lits mélangés A et B est rapportée à table, et "on ou off". La vanne pneumatique est illustrée Résumé par deux fins de course [31].



Figure III.2 : installation de déminéralisation dans le complexe FERTIAL Annaba.

III.5 Les résine échangeuse d'ion :

Les échangeurs d'ions sont des substances granulaires insolubles (résines) qui contiennent des ions positifs ou négatifs dans leur structure macroporeuse et sont capables d'échanger les ions qu'ils contiennent avec les ions présents dans la solution. Les résines échangeuses d'ions, dans la plupart des cas sous forme de billes, sont capables d'échanger leurs ions A avec des ions B de même signe dans l'eau brute sans modification ou altération physique [32].



Figure III.3 : résine échangeuse d'ions.

Si vous remplacez tous les cations dissous dans l'eau par des ions H^+ et tous les anions par des ions OH^- , ceux-ci vont se recombiner pour former de nouvelles molécules d'eau. Pour y parvenir, il vous faut une résine échangeuse de cations sous la forme H et une résine échangeuse d'anions sous la forme OH. Tous les cations et anions de l'eau seront échangés, et le résultat net est une "disparition" complète des contaminants ionisés. La réaction d'échange de cations sera : [28]



Dans ces équations, R' représente la résine échangeuse de cations. L'échange est illustré dans la (fig III.4).

La résine est initialement sous forme hydrogène (H^+). Les anions ne sont pas montrés dans cette illustration. Vous voyez qu'un ion calcium Ca^{++} pénétrant dans la résine cause la sortie de deux ions H^+ , tandis qu'un ion Na^+ est échangé contre un ion H^+ .

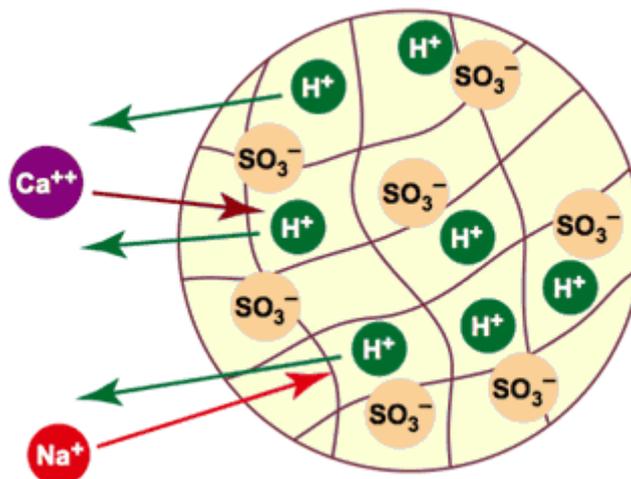
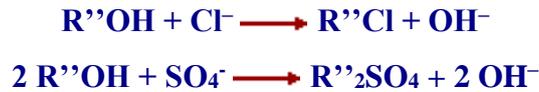


Figure III.4 : Déca ionisation (tous les cations sont remplacés par H^+).

De la même façon, une résine échangeuse d'anions sous forme OH^- peut éliminer tous les anions :



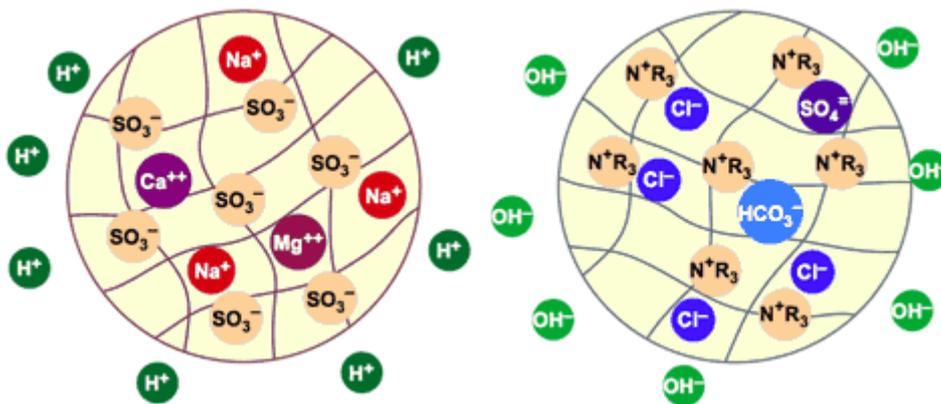
Où R'' représente la résine échangeuse d'anions. Tous les anions sont remplacés par des ions hydroxyde (OH^-). Il n'y a pas ici d'illustration de cet échange d'anions, car il est en tout point semblable à l'échange de cations illustré par la (Fig III.4).

À la fin du processus d'échange, les billes de résine ont fixé tous les cations et anions présents dans l'eau et les ont remplacés par des ions H^+ et OH^- ions. Les résines sont presque entièrement saturées (Fig.III.5).

Ces ions H^+ et OH^- se recombinent instantanément pour créer de nouvelles molécules d'eau :



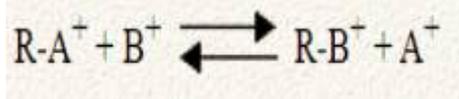
Les contaminants ionisés ont été fixés sur les deux résines (Na, Ca et Mg sur l'échangeur de cations, Cl, SO_4 et HCO_3 sur l'échangeur d'anions) et l'eau a été complètement déminéralisée. Sa salinité est réduite à presque rien, quelques ions qui ont pu s'échapper des colonnes de résine, et que l'on appelle fuite ionique [33].



**Figure III.5 : Les billes de résine sont saturées.
Des ions H^+ et OH^- ont été relâchés dans l'eau.**

III.5.1 Mécanisme de travail de résine

L'échange d'ions sur un matériau solide consiste à éliminer une solution contenant des ions avec une charge donnée par adsorption sur un matériau solide (l'échangeur d'ions) et remplacée par d'autres ions de même charge initialement présents dans l'échangeur d'ions solides. Il s'agit d'un procédé réversible et sélectif. Il n'y a pas de différence que la réaction soit approchée dans le sens d'un échange de A par B ou de B par A. C'est pourquoi, il peut être symbolisé comme une réaction où R représente le squelette de la résine.



La structure de la résine est un polymère sur lequel un ion fixe a été fixé de façon permanente. Cet ion ne peut pas être enlevé ou remplacé : il fait partie de la structure. Pour préserver la neutralité électrique de la résine, chacun de ces ions fixes doit être neutralisé par un contre-ion de charge opposée, ce contre-ion est mobile et peut sortir de la résine ou y entrer [33].

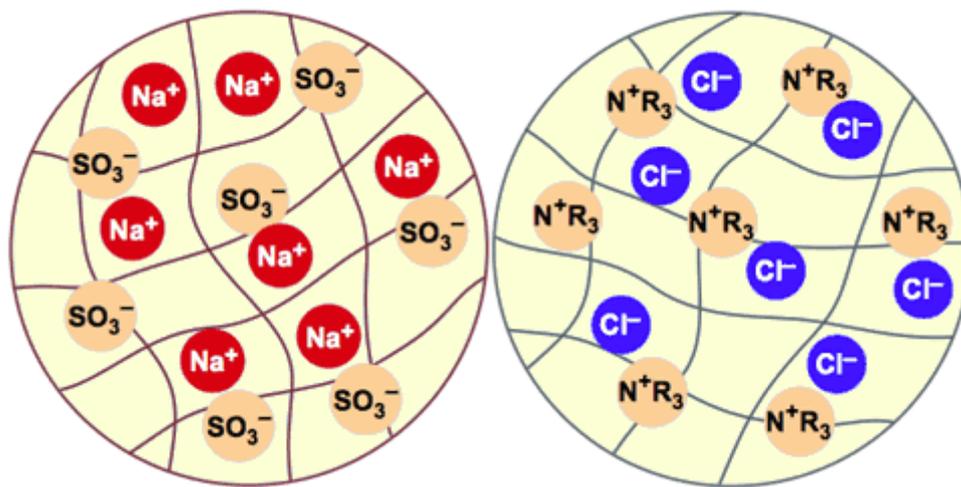


Figure III.6 : Représentation schématique de billes de résines échangeuses de cations et d'anions.

III.5.2 Désinfection des résines :

Les problèmes d'exploitation peuvent parfois survenir en raison de la présence de micro-organismes :

- Le lit se comble en raison de l'invasion de colonies bactériennes (notamment avec les résines carboxyliques).
- Intoxication des pores internes de la résine (en particulier avec les échangeurs d'anion).

Les traitements, qu'il est préférable de ne prendre qu'après consultation d'un spécialiste, sont de deux types :

- Préventifs, par chloration préalable, continue ou discontinue, de l'eau brute,
- Curatifs, par désinfection de la couche de résine, soit au formol, soit avec une solution d'un produit à base d'ammoniums quaternaires, soit avec une saumure à 200 g/l en NaCl, alcalinisée à pH 12 avec soude [38].

III.5.3 Stockage des résines : [33]

III.5.3.1 Dans leur emballage d'origine :

a) Protection contre la déshydratation :

Il est important de maintenir les résines dans leur emballage intact, à l'abri du soleil et à une température inférieure à 40 °C. Pour assurer l'étanchéité des emballages, il est important de maintenir l'humidité de la résine si les emballages ont été ouverts, en aspergeant de l'eau si besoin, avant de les refermer.

b) Protection contre le gel :

Il est possible de protéger les résines contre le gel en les stockant dans un environnement hors gel ou en le traitant.

III.5.3.2 Dans une installation :

a) Protection contre la déshydratation :

Maintenir les colonnes remplies d'eau en permanence.

b) Protection contre le gel :

Remplacer l'eau par une saumure saturée qui assure une protection jusqu'à une température de -17 °C. Pour des températures inférieures, utiliser un mélange eau/glycol dans une proportion appropriée.

III.5.3.3 Protection contre les développements bactériens :

Avant de mettre à l'arrêt, il est important de retirer les matières en suspension en effectuant un lavage prolongé à contre-courant afin de prévenir les développements bactériens. Il est important de maintenir les résines cationiques et anioniques dans leur état saturé, ce qui permet également aux résines anioniques d'éviter l'hydrolyse des groupes fortement basiques en groupes faiblement basiques et en groupes non ioniques, ce qui entraîne des pertes de capacité. La méthode de remplir l'installation avec de la saumure (avec un taux de 200 g/l au minimum) est également efficace, elle offre également une solution contre le gilet hydrolysé.

III.6 Contrôle de traitement :

Il est nécessaire de renouveler la résine lorsque l'on remarque la présence des ions que l'on souhaite éliminer dans l'eau traitée, presque à la fin du cycle, qui sera supervisée par un compteur totalisateur de débit à présélection. La mesure de conductivité en sortie du lit mélangé permet de déterminer la fin du cycle réelle. Nous utilisons des chaînes de résine à lit mixte (mélangé) pour déminéraliser la section. [34]

III.7 Echangeur d'ions :

III.7.1 Définition et principe :

Les échangeurs d'ions sont des composés granulaires insolubles qui contiennent des radicaux acides ou basiques qui peuvent permuter, sans altération physique ni solubilisation, les ions positifs ou négatifs fixés sur les radicaux contre des ions de même signe présents en solution dans le liquide à leur contact. L'échange d'ions, également connu sous le nom de permutation, permet de changer la composition ionique du liquide qui est soumis au traitement sans modifier le nombre total de charges présentes dans ce liquide après l'échange [35].

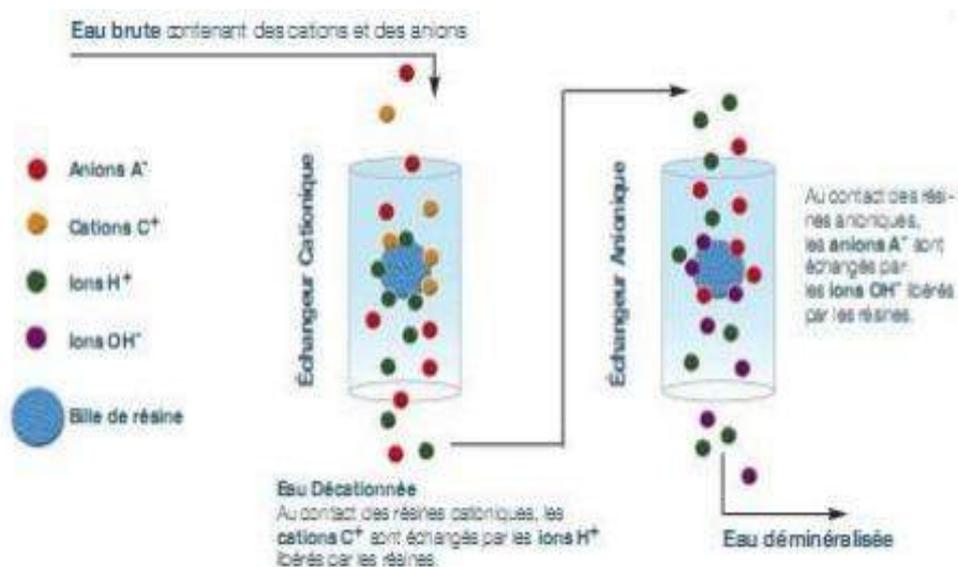


Figure III.7 : Principe de production d'une eau déminéralisée par des échangeurs d'ions [36].

III.7.2 Description d'un échangeur d'ions :

L'échangeur est composé d'une cuve en tôle cylindrique verticale. Il est classique, avec ses extrémités entourées de deux bases convexes. Le revêtement de peinture constitue la barrière interne qui empêche la corrosion du fer par l'oxygène de l'eau. Le conteneur est organisé de la manière suivante :

* Un ensemble de vannes peut réaliser les tâches suivantes :

- ✓ alimentation en eau à traiter.
- ✓ Incorporer des matériaux recyclés.
- ✓ Éliminer l'air de la partie supérieure du réservoir.

*Le réseau de filtration distribue de manière homogène l'eau à traiter ou à éliminer. Le matériau recyclé est disposé en haut du réservoir.

* Un deuxième réseau de filtration est placé en partie basse du bac de récupération Eau traitée et eaux usées recyclées.

*Une couche de sable d'environ 30 cm d'épaisseur avec des particules plus grosses Empêchez la résine de passer à travers le tamis inférieur.

* Lit de résine échangeuse d'ions d'une hauteur approximativement égale au

*diamètre de l'échangeur est constitué de particules généralement sphériques d'un diamètre de La plage de variation est de 0,3 à 1,5 mm [36].

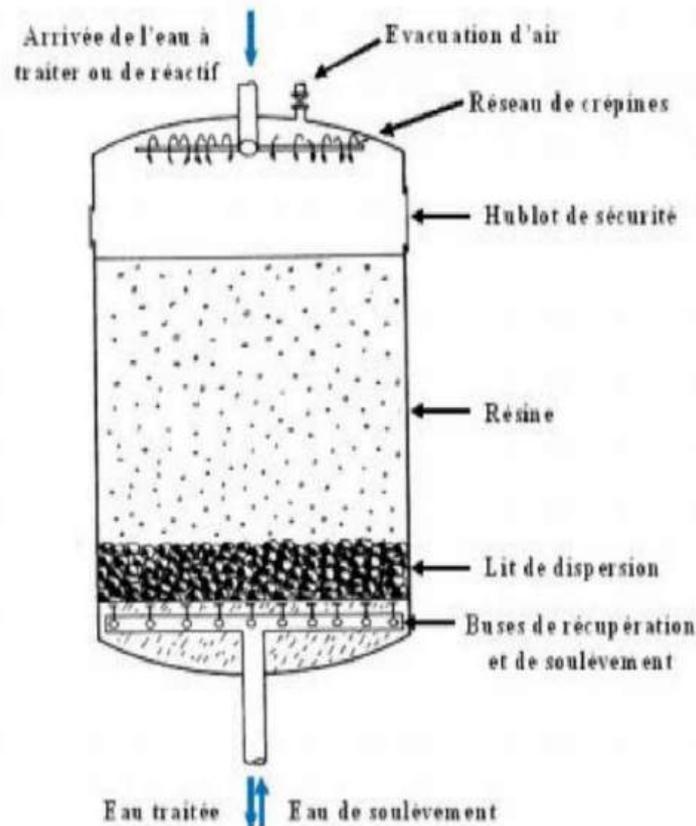


Figure III.8 : échangeur d'ion.

III.7.3 Les caractéristiques d'un échangeur d'ions :

1. La capacité :

La capacité correspond à la quantité d'ions qui peuvent être fixés par l'unité de volume (généralement de masse) de l'échange en question. On fait une distinction.

2. Capacité globale :

Un échantillon de résine possède une capacité totale qui correspond au nombre de sites (groupes actifs) où l'échange d'ions peut se produire. Il s'agit donc de la plus grande quantité d'ions que la résine peut prendre en charge.

3. Capacité utile:

La capacité opérationnelle, aussi appelée capacité travaillée, est le nombre de sites où l'échange s'est véritablement produit pendant la phase de baisse. Il est également crucial de prendre en compte le nombre de charges électriques des ions fixés, mais pas le nombre de ces ions, car certains d'entre eux peuvent avoir plus d'une charge.

4. La densité :

La densité est un paramètre important car elle conditionne le comportement hydraulique de la résine dans la colonne [37]. La densité de chaque résine, s'inscrit dans les fourchettes suivantes [38]:

- * Echangeur de cations fortement acides [1.18 - 1.38].
- * Echangeur de cations faiblement acides [1.13 - 1.20].
- * Echangeur d'anions fortement basiques [1.07 - 1.12].
- * Echangeur d'anions faiblement basiques [1.02 - 1.10].

5. Stabilité :

Les résines doivent assurer une longue période de service. Il existe plusieurs mécanismes qui peuvent dégrader les résines [37]:

- Oxydation du milieu
- Température
- Sollicitations mécaniques
- Tensions induites par la différence de taille entre les ions échangés. La stabilité des résines tant celle du squelette que du groupe actif.

III.7.4 Classification selon la nature du regroupement fonctionnel : [36]

On classe les résines en deux catégories en fonction de la nature de l'ion qui vont être échangés :

1. Les échangeurs cationiques : Les échangeuses de cations assurent la permutation de l'ion ou tout autre cation minéral ou organique dans la solution est muté par celles de la résine grâce aux échangeuses de cations. L'eau d'hydratation de la résine contient toujours un contre-ion X^+ , qui sera échangé avec un cation de la solution lors de la réaction. Ces résines contiennent des groupements fonctionnels composés de radicaux acides, dont certains sont très acides, tandis que d'autres sont faiblement acides. [36]

a) Les résines fortement acides (FA) : Ils sont caractérisés par la présence de radicaux sulfoniques HSO_3^- ayant des acidités voisines de celle de l'acide sulfurique. Actuellement ce sont des polystyrènes sulfonés

b) Les résines faiblement acides (FA) : Ce sont des résines polyacryliques caractérisées par la présence de radicaux carboxyliques HCO_2 , pouvant s'apparenter à certains acides organiques tels que l'acide formique ou acétique.

2. Les échangeurs anioniques : Les échangeurs d'anions assurent La permutation des ions hydroxydes ou de tout autre anion minéral ou organique est assurée par les échangeurs d'anions. En ce qui concerne les résines anioniques, il y a toujours un contre-ion X^- dans l'eau d'hydratation de la résine, qui sera échangé avec un anion de la solution lors de la réaction.



Ces résines ont pour groupements fonctionnels des radicaux basiques, fortement basiques pour les uns, faiblement basiques pour les autres.[36]

a) Les résines fortement basiques (FB): Leur squelette est soit polystyrénique, soit acrylique, à structure gel ou macroporeuse.

b) Les résines faiblement basiques (FB) : Leur squelette est soit polystyrénique à structure macroporeuse, soit polyacrylique. Les résines polyacryliques ont plus de capacité et retiennent l'acide carbonique mais sont difficiles à rincer.

III.8 La régénération des échangeurs d'ions :

Une fois les échangeurs d'ions saturés doivent être régénérés, Avant la régénération, les deux La résine doit d'abord être séparée hydrauliquement Lors du désossage, mettre dessus une résine anionique plus légère, La résine cationique se dépose au fond.

La régénération comporte les séquences des étapes suivantes :

a. Dé tassage :

Les anions et cations de la résine seront dans Les parties supérieure et inférieure de l'échangeur, les différences suivantes densité et aide au lavage.

b. Le repos (10 min) : classement des résines

b.1. Injection de la soude (Na OH) 40min :

La régénération est effectuée à une densité de Na OH de 1040. La solution de soude à 50 % est préparée dans un bac de soude, diluer pour obtenir la densité souhaitée Pénètre dans le lit de résine anionique et circule à travers Pompe doseuse de soude. L'eau dessalée issue de la dilution de soude arrive par piquage de tuyauterie d'eau dessalée avant d'entrer dans la chaîne de déminéralisation.

b.1.1. Déplacement et rinçage de soude :

On fait un rinçage pour éliminer les excès de soude jusqu'à obtenir dans les eaux de rinçage échangeur TA=100°F.

b. 2. Injection d'acide sulfurique (30 min) :

Injection d'acide sulfurique avec densité 1015 (2% en poids), l'acide sulfurique est préparé dans le bac d'acide GV 1353 et avec la pompe doseuse GP1354 on le dilue dans diluer acide et injecter dans l'échangeur.

B.2.1. Déplacement et rinçage acide (45min) :

On cantiner dans les mêmes conditions jusqu'à obtenir dans les eaux de rinçage TAF=80°F ce mesure indique que toute la canalisation est rincée d'acide.

c. vidange partielle (10min):

Elle permet de descendre le niveau d'eau a quelques centimètres au- dessus des résines, afin d'obtenir un mélange correct lors du brassage à l'air.

d. Mélange des résines (30min) :

Ont procédé à cette opération par l'air de suppresseur envoyé au bas de l'échangeur.

e. Remplissage de l'échangeur (5min) :

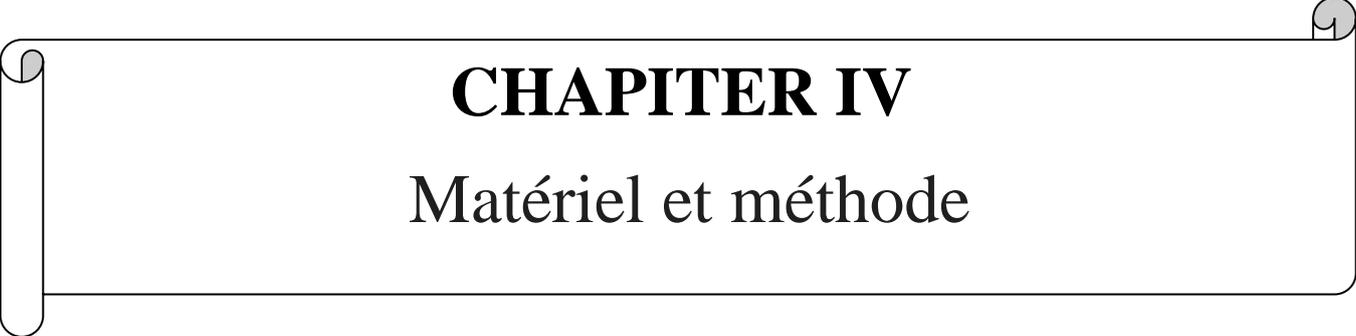
Il faut s'assurer que l'échangeur soit rempli à grand débit ne crée pas la turbulence en surface du lit.

f. Rinçage finale (10min) :

Quand on obtient une bonne conductivité (conductivité<1) on dit que c'est la fin de rinçage.

III.9 Conclusion :

Nous avons pu exposer les divers aspects de la méthode de déminéralisation ainsi que les spécificités opérationnelles des échangeurs d'ions. En poursuivant notre étude et notre amélioration de ces méthodes, nous pourrons faire face de manière plus efficace aux défis liés au traitement de l'eau et contribuer à préserver cette ressource essentielle pour les générations à venir.

A decorative horizontal border with rounded ends, resembling a scroll. It has a thin black outline and a light gray shadow on the left side, giving it a three-dimensional appearance.

CHAPITER IV

Matériel et méthode

IV.1 Introduction :

Dans ce partie on a fait les analyses des différents paramètres (pH, TH, TA, TAC, P₂O₅, SiO₂, Na OH...) de l'eau utilisé au niveau de centrale utilité 2 avec les méthodes qui sont appliquées dans l'industrie (FERTIAL).

IV .2 Analyse des eaux :

Pendant la période de notre stage au niveau de la centrale utilité 2, on a effectué des analyses physico-chimiques de l'eau (d'alimentation, chaudière, déminé...). Programmées dans quatre fois par jour (l'heure sélectionné par l'opérateur de l'unité). On prélève les échantillons à partir des vannes , mis dans une bouteille de plastique bien bouchonnée selon les directives des opérateurs de l'unité. Les analyses sont réalisées au niveau du laboratoire du complexe FERTIAL.

IV.3 Techniques des analyses physico-chimiques des eaux :

Les techniques analytiques exploitées au niveau du laboratoire sont regroupées dans le tableau IV.1.

Paramètres	Unité	Méthodes	instruments
pH	/	Electrochimique	pH-mètre
TA	°F	Volumétrique	/
TAC	°F	Volumétrique	/
TH	°F	Volumétrique	/
Cl ⁻	mg/l	Mercurique	/
P ₂ O ₅	mg/l	Spectrophotométrie	Spectrophotométrie à une longueur d'onde =400nm
SiO ₂ ⁻	mg/l	Spectrophotométrie	Spectrophotométrie à une longueur d'onde égale 815nm
Na OH	mg/l	Volumétrique	/

Tableau IV.1 : paramètres physico-chimiques étudiés et méthodes de mesure.

IV.4 Prélèvement de l'échantillon :

Pour le prélèvement de l'échantillon on a toujours besoin de l'utilisation des flacons plastiques. Cependant, pour certains paramètres, n'utilise pas des objets métalliques (risque de corrosion). L'échantillon prélevés être clairement identifiés :

- Utilisé des étiquettes indiquant dans chaque flacons (lieu et nature, site de prélèvement, la date et l'heure de prélèvement)
- L'échantillonnage de l'eau doit être homogène et représentatif
- Avant le prélèvement le flacon est rincé par l'eau distillée puis trois fois par l'eau à analyser
- Le prélèvement de l'échantillon est effectué à la même heure et au même endroit.

IV.5 Mode opératoire des analyses :

IV.5.1 Détermination de pH :

➤ Principe :

Le pH de l'eau à analyser est réalisé à l'aide d'un pH mètre muni d'une électrode de verre étalonné. Il est mesuré par la méthode électrochimique [39].

➤ Réactif :

- Indicateur universel
- L'échantillon à analyser

➤ Mode opératoire :

On prélève 100 ml d'eau à analyser et quelques gouttes de l'indicateur universel qui change la couleur en fonction de la valeur de pH. On mesure à l'aide d'un papier pH.

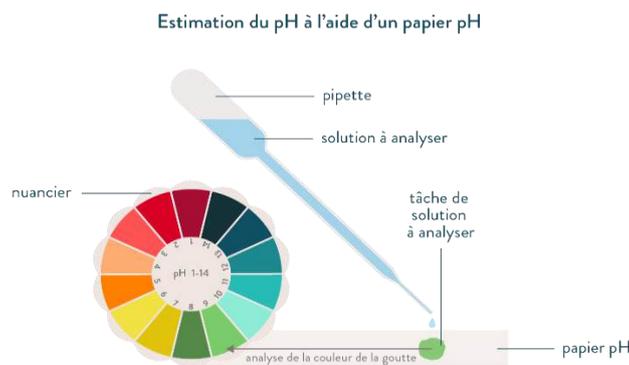


Figure IV.1 : Estimation du pH à l'aide de papier pH.

Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en unités de pH à la température de 25C°.

IV.5.2 Détermination de TH :**➤ Principe :**

La détermination du TH est basée sur la formation de complexe entre les alcalino-terreux et le sel di sodique de l'acide éthylène-diamine tétracétique (EDTA) en présence de NET en milieu tamponné. La dureté est mesurée par complexométrie selon la méthode titrimétrique [40].

➤ Réactif :

- Solution tampon (pH=10)
- EDTA : sel di sodique de l'acide éthylène diamine tétra-acétique N/50
- NET : Noir ériochrome T à 0,25 g alcool pour 100 ml de solution.

➤ Matériel :

- Burette de 25 ml à utiliser pour l'EDTA.
- Matériel courant de laboratoire : fioles, pipettes, béchers.

➤ Mode opératoire :

1. On prélève 100 ml d'échantillon dans un bécher de 250ml, on ajoute 4 gouttes de l'indicateur coloré(NET), +2ml de la solution tampon (pH=10)
si la solution à coloré en bleu donc TH=0.
2. Si la solution à coloré en rose, il faut titrer la solution avec l'EDTA N/50 jusqu'à l'obtention d'une couleur bleu.
3. Noté le volume de l'EDTA a Lu à la burette.



FigureIV.2. : Détermination de TH solution avant titrage (rose) après titrage (bleu).

➤ **Expression des résultats :**

$$\text{TH}^{\circ}\text{F} = \frac{V \times N \times E_{\text{CaCO}_3}}{1000} \times \frac{1000}{PE} \times 100$$

V : le volume de la solution d'EDTA lu à la burette et qui exprime le TH en °F

Pour exprimer le TH en milligramme de CaCO₃ au litre, on a **1°F = 10mg CaCO₃/l**

IV.5.3 Déterminations de TA et TAC :

➤ **Principe :**

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaires pour neutraliser, le volume d'eau à analyser. la première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), La seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC), en présence d'un indicateur coloré.

➤ **Réactif**

- Phénolphtaléine (pH=8,30)
- Acide nitrique
- Méthyle orange (pH=4,3)

➤ **Matériel :**

- Burette.
- Pipettes.
- Fioles.
- Bécher.

➤ **Mode opératoire :**

❖ **TA (titre alcalimétrique) :**

1. On prélève 100 ml d'échantillon d'eau à analyser
2. On ajoute des gouttes de Phénolphtaléine
3. Si la couleur rose on titre par HNO₃ jusqu'à la couleur transparente
4. On lit directement sur la burette le volume de HNO₃

❖ **Résultats :**

Le volume lu sur la burette en millilitre, il est exprimé le TA en °F.

$$TA^{\circ F} = \frac{A \times N \times 50}{1000} \times \frac{1000}{V} \times 100$$

❖ **TAC (titre alcalimétrique complet) :**

1. On a utilisé l'échantillon traité précédemment, la même solution de TA.
2. On ajoute des gouttes de méthyle orange, on gite constamment jusqu'à la couleur Jaune foncé ou rouge brique.
3. On note le volume d'acide lu à la burette.

❖ **Résultats :**

$$[TAC] = VT \times FC \times F.$$

TAC : Titre Alcalimétrique complet exprimée en mg/l.

VT : Volume de titrage en ml.

F=1 : Facteur de dilution.

FC=1 : Facteur de correction.

Donc le volume d'acide en millilitre lu à la burette exprime le TAC en °F.

Le TA et le TAC en milligrammes de CaCO₃ au litre, on a : **1°F=10mg de CaCO₃/l.**



Figure VI .3 : Les indicateurs colorés.

IV.5.4 Dosage des chlorures Cl :

➤ **Principe :**

Les chlorures sont dosés par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de diphénylcarbazonne comme indicateur.

➤ **Réactifs :**

- Acide nitrique HNO₃ N/40.
- Indicateur coloré diphénylcarbazonne.

- Nitrate d'argent.

➤ **Matériel :**

- Erlen de 250 ml.
- Pipette.
- Burette.
- Fiole.

➤ **Mode opératoire :**

1. On prélève 100 ml d'échantillon de l'eau à analyser dans un Erlen de 250 ml.
2. On ajoute 3 gouttes de diphénylcarbazon on a vit la couleur violette.
3. Neutralisation de solution avec l'acide nitrique on a vit la couleur jaune.
4. Titrer avec $Hg(NO_3)_2$ jusqu'à coloration violet.
5. On lit le volume de nitrate d'argent à la burette, noté par V.

➤ **Expression et résultats :**

La teneur en chlorures est exprimée en mg/l selon la formule :

$$Cl \text{ mg/l} = \frac{V \times N \times Eg \text{ Cl}}{1000} \times \frac{1000}{PE} \times 1000$$

N=0,04

V : exprimé le volume en millilitre de la solution de nitrate d'argent.

Eg : équivalent gramme.

PE : prise d'essai.

IV.5.5 Dosage de phosphate P2O5:

➤ **Principe :**

L'ion ortho phosphate forme avec le vanadomolybdate, en milieu sulfurique, un complexe phosphovanadomolybdique de couleur jaune. Les mesures sont effectuées à l'aide d'un spectrophotocolorimètre JEAN CONSTANT. L'utilisation de tare optique de cet appareil permet d'espacer les étalonnages suivant la norme [41].

➤ **Réactifs :**

- Vanadomolybdique à N/25

Matériel :**Figure IV.4 : Spectrophotomètre.****➤ Mode opératoire :**

1. On prend 10ml d'échantillon d'eau à analyser dans une fiole de 50 ml remplir le volume avec 40ml d'eau distillé.
2. On ajoutent 25 ml de vanadomolybdique.
3. On mélange bien, on laisse reposer 5 min.
4. Transvaser dans les cuves.

➤ Expression et résultats :

La teneur en phosphate de l'eau est donnée par l'expression suivante :

$$P_2O_5 \text{ Mg/l} = \frac{L \times \Delta \times 50}{PE}$$

IV.5.6 Dosage de silice SiO₂ :**➤ Principe :**

Le dosage de la silice fait avec la méthode spectrométrie.

La silice ionisé forme un complexe silico-molybdique jaune en milieu acide avec le molybdate d'ammonium [42].

➤ Réactifs :

- Molybdate d'ammonium
- Sulfite de sodium

➤ **Matériel :**

- Spectrophotomètre

➤ **Mode opératoire :**

1. Prélever 10 ml d'échantillon y mettre dans une fiole de 50 ml.
2. Ajouter 05 ml H Cl ,agiter 30 sec.
3. Ajouter 05 ml Molybdate d'ammonium 100g/l, agiter 1min.
4. Ajouter 10 ml Sulfite de sodium 170 g/l, agiter 1min.
- 5 .Laisser reposer 05 min et faire passer au spectrophotomètre à $\lambda = 815$ nm.

Expression des résultats :

$$\text{SiO}_2 \text{ mg / l} = \frac{L \times \Delta \times 10}{PE}$$

L : lecture

Δ . : Pente

IV.5.7 Détermination de la soude libre Na OH :

➤ **Principe :**

Après précipitation des carbonates et des phosphates par le chlorure de baryum, le TA résiduel, parfois appelé TA(OH), correspond à la soude libre, Ce TA résiduel, titré par un acide fort, est traduit par calcul la concentration de soude libre (Na OH).

➤ **Réactifs :**

- Chlorure de baryum
- Phénolphtaléine
- Acide chlorhydrique

➤ **Matériel :**

- Bécher de 250ml
- Pipette

➤ **Mode opératoire :**

1. Introduire 100ml d'échantillon dans un bécher de 250ml.
2. Ajouter 10ml de chlorure de baryum 10% et agiter.
3. Attendre 2 à 3 minutes, chauffer et refroidir.
- 4 .Ajouter 2 gouttes de phénophtaléine puis titrer avec HCL N/25 jusqu'à la Disparition de coloration rose (incolore).

➤ **Expression et résultats :**

La teneur de l'eau en soude libre sera donnée en mg/l par l'expression :

$$\text{Na OH mg/l} = \frac{V \times N \times 40}{1000} \times \frac{1000}{PE} \times 1000$$

V : exprimé le volume de l'acide chlorhydrique utilisé dans le tirage.

N : exprimé la normalité de solution de soude.

IV.5.8 Détermination de la conductivité :

➤ **Principe :**

La conductivité électrique d'une eau est une mesure du courant électrique conduit par les ions présents dans l'eau. Elle dépend de la concentration, nature des ions, de la température et la viscosité de la solution. La conductivité d'une solution est la mesure de la capacité des ions à transporter le courant électrique. Ce passage du courant électrique s'effectue par la migration des ions dans un champ électrique produit par un courant alternatif [43].



Figure IV.5 : Conductimètre.

➤ **Mode opératoire :**

1. On prélève 100ml de l'échantillon de l'eau à analyser.
2. Rincé les électrodes avec l'échantillon de l'eau à analyser.
3. Placer l'électrode immergée dans l'échantillon à analyser.

4. On lit la conductivité sur l'appareille.

➤ **Expression des résultats :**

Le résultat est donné directement, (lit sur le conductimètre)

IV.5.9 Détermination de TAF (titre d'acide fort):

➤ **Réactif :**

- Méthylorange (MO)
- Carbonate de soude

➤ **Matériel :**

- Bécher de 250ml
- Burette de 20 à 25 ml
- Pipette

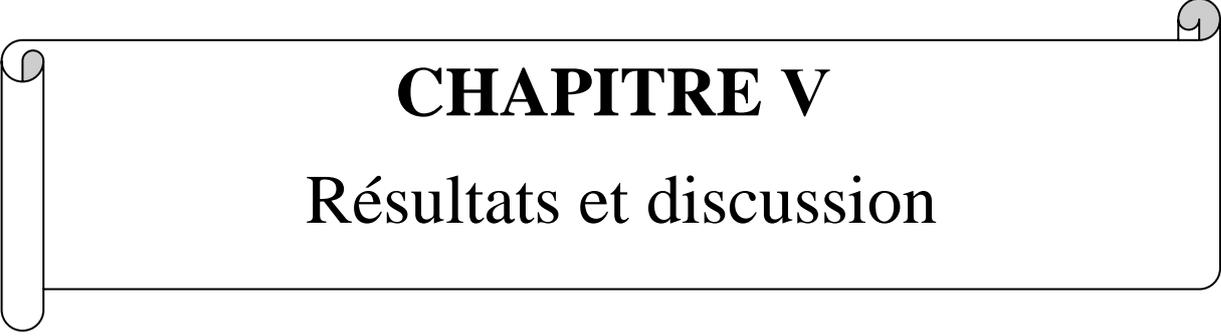
➤ **Mode opératoire :**

1. Dans un bécher de 250ml introduire 100ml d'échantillon.
2. Ajouter 3 gouttes d'indicateur MO.
3. Titrer avec le carbonate de soude N/50 jusqu'à virage du jaune au rouge.

➤ **Expressions des résultats :**

$$\text{TAF } ^\circ\text{F} = \frac{A \times N \times 50}{1000} \times \frac{1000}{P} \times 100$$

Remarque : l'analyse de titre d'acide fort ne fait pas toujours comme les autres paramètres ce fait seulement par demande de l'opérateur de centrale utilité 2.

A decorative border resembling a scroll, with rounded corners and a slight shadow effect, framing the chapter title.

CHAPITRE V

Résultats et discussion

V.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous présenterons les résultats d'analyses de l'eau déminée, L'eau alimentaire et l'eau de chaudière qui sont effectués au niveau de laboratoire pendant un moins de stage.

V.2 Les résultats d'analyses :

1. Les résultats d'analyse de l'eau déminée sont représentés dans le tableau (**voir l'annexe n°1**).
2. Les résultats d'analyse de l'eau alimentaire sont représentés dans le tableau (**voir l'annexe n°2**).
3. Les résultats d'analyse de l'eau de chaudière sont représentés dans le tableau (**voir l'annexe n°3**).

Tableaux V.1 : Les normes pour les chaudières à tube d'eau.

Paramètres d'analyses	Les normes
Eau déminée	
pH	7,5
Eau d'alimentation	
pH	≥8,5
TH (°F)	<0,05
Eau de chaudière	
pH	10-11
TA (°F)	TA ≥0,5TAC impératif
TAC (°F)	≤ 15
Cl (mg/l)	≤100
Na OH (mg/l)	≤10
SiO ₂ (mg/l)	≤ 15
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	10-40

V.3 Présentations graphiques est interprétation des résultats d'analyses :

Nous sommes appuyés sur des histogrammes et des courbes graphiques pour représenter l'évolution des analyses que nous avons suivies pendant la période de notre stage.

V.3.1. L'évolution du pH :

Le pH est un paramètre qui permet de définir si un milieu est acide ou basique. Le pH de l'eau pure à 25 °C est égal à 7, c'est cette valeur qui a été choisie comme référence d'un milieu neutre. Selon la **Figure V.1**, la variation du pH à différent eau (deminée, chaudière et alimentaire) est compris entre 7 à 10,5. Pour l'eau alimentaire la moyenne de la valeur du pH est légèrement basique (8,3) et au voisinage à la norme qui est de 8,5. Ce caractère du pH Dû à l'origine de cette eau (retour condensats et eau déminéralisée) et au produit neutralisant injecté (La morfoline a pour but de remonter le pH à 8-9) avant dégazage physique. L'eau de chaudière à une valeur moyenne de 10,08 es aussi une valeur légèrement basique et autour de la norme (10,5) on peut dire que n'y a pas fluctuation aléatoire, ainsi un milieu basique permettrait de lutter contre la corrosion. L'eau démenée a une valeur moyenne de 7 qui respecte les normes une valeur d'un milieu neutre est c 'est le but de la procédure de déminéralisation à rendre l'eau de mer (salinité élevée) à la neutralité.

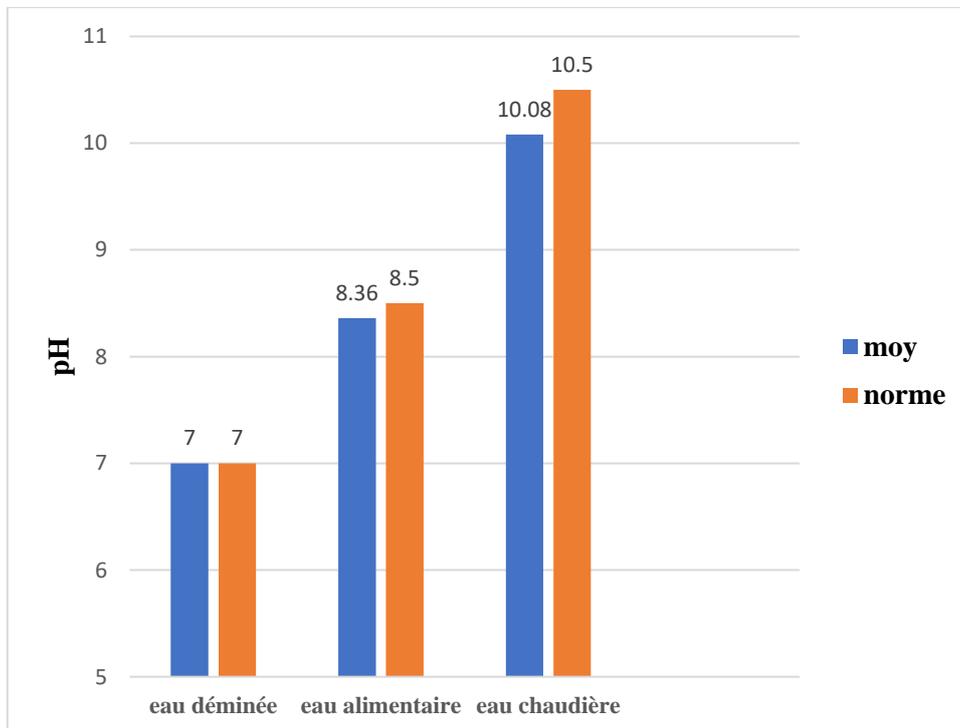


Figure .V.1 : L'évolution du pH.

V.3.2 L'évolution du TA :

Le titre alcalimétrique est une mesure de la capacité d'une solution à neutraliser les acides. Selon la **figure V.2**. On remarque que le TA de l'eau déminée, est nul car il ne contient plus de sel et des minéraux alcalins dans la solution. Le TA de l'eau alimentaire a une valeur TA=0,14 on remarque qu'il y a un écart important TA et TAC ($TAC=3 TA$) ce qui dénote une présence notable de bicarbonate qui pourraient générer un forme libre de CO_2 agressif dans les eaux de chaudière. La valeur du TA=1,94 de l'eau chaudière, ces valeurs sont dues à la quantité de sulfite de soude et la quantité de marfoline injecté, la fluctuation de la valeur de TA dans l'eau de Chaudière peut indiquer la présence d'un pourcentage de sels minéraux, notamment bicarbonates et de bicarbonates, qui contribuent à la formation de dépôts calcaires et à la corrosion dans le système de Chaudière.

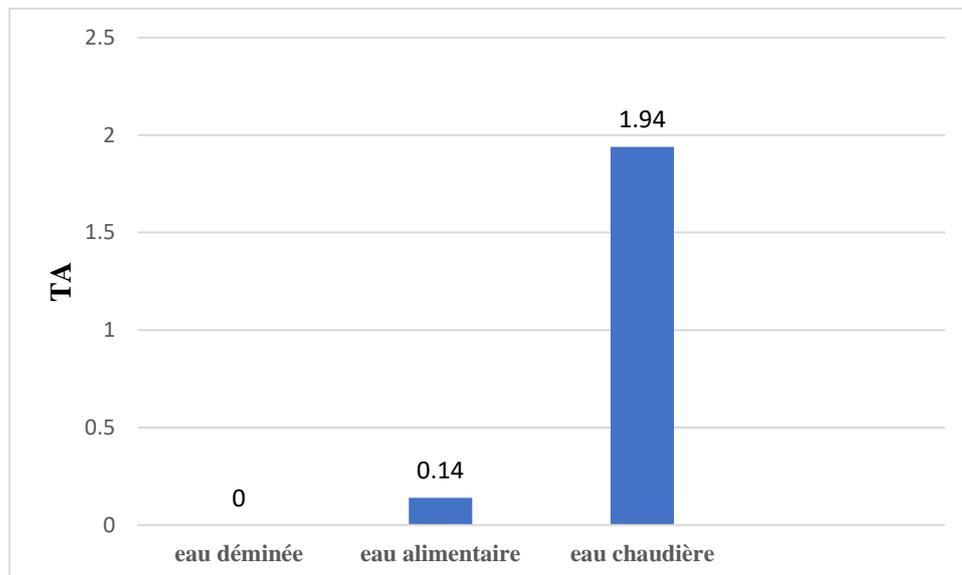


Figure .V . 2 : L'évolution du TA.

V.3.3 L'évolution du TAC :

Le TAC, ou Titre Alcalimétrique Complet, est une mesure de la quantité totale d'ions alcalins présents dans une solution. Selon **la figure V.3**. On remarque que le TAC de l'eau déminée, ne contient pas aucun ion de calcium et magnésium dans la solution grâce au processus de déminéralisation. La valeur du TAC est presque stable sont dans les normes correspondantes de l'eau alimentaire. La valeur du TAC de l'eau de chaudière sont supérieures à les normes, c'est à dire la teneur en bicarbonate est élevée dans notre échantillon d'eau, à cause de l'augmentation de la pression ou de la température de l'eau à l'intérieure de la chaudière, ou en raison d'une surchauffe du système.

La valeur du TH de l'eau déminée et l'eau alimentaire et l'eau chaudière montre que le TH est sont dans les normes (TH=0), cette phrase indique la haute performance des équipements utilisées, permettant la formation de complexes entre la poussière alcaline et le sel de sodium pour l'acide éthylénédiaminetétraacétique (EDTA) en présence de noire eriochrome.

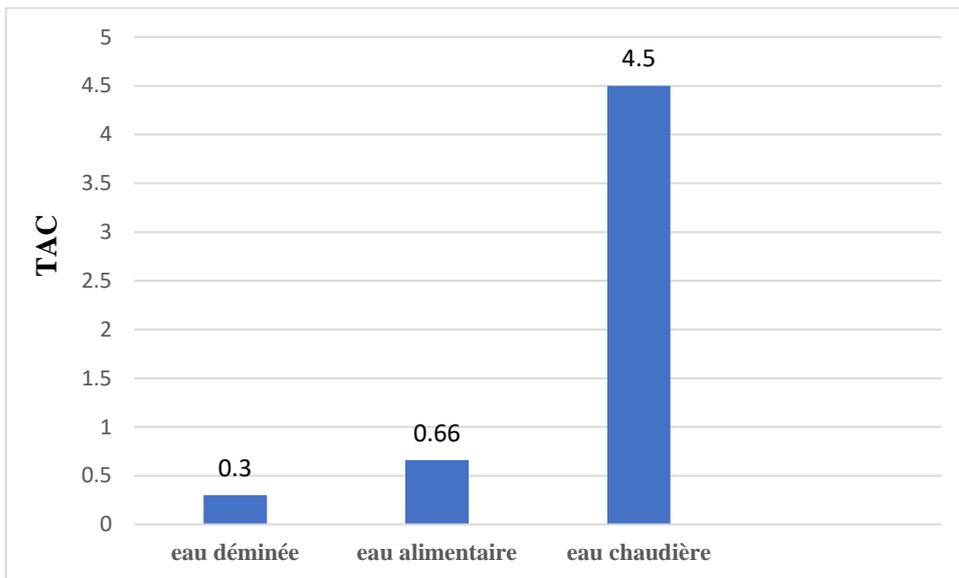


Figure .V. 3 : L'évolution du TAC.

V.3.4 La Concentration du Cl :

Les chlorures dans l'eau de chaudière se réfèrent à l'ion chlorure présente dans cette eau. Le chlore est toujours présent dans l'eau car le traitement effectué n'est pas parfait. Comme on remarque dans **La figure V.4**, qui présente la variation de $[Cl^-]$ de l'eau de chaudière en fonction du temps, les valeurs des chlorures dans l'eau de chaudière est acceptable (dans les normes). Le chlore peut provoquer une corrosion par piqure des métaux dans le système de chaudière, et aussi peuvent réagir avec d'autres composés présents dans l'eau pour former des

dépôts solides .ces dépôts peuvent obstruer les canalisations et les échangeurs de chaleur, cela provoque un dysfonctionnement des appareils.

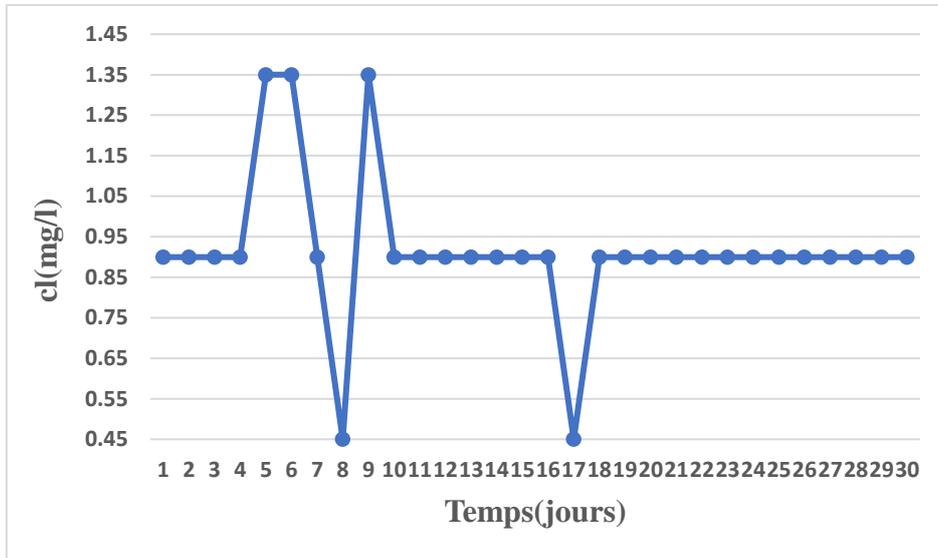


Figure V.4 : variations du Cl de l'eau de chaudière en fonction du temps.

V.3.5 La Concentration de la silice :

La silice dans l'eau de chaudière fait référence à la présence de composés contenant du silicium dissous dans cette eau, ce dernier est très agressifs lorsqu'il pénètre dans le système de chaudière. **La figure V. 5.** Il présente la variation de [SiO₂⁻] de l'eau de chaudière en fonction du temps, on remarque que la silice est en quantité très faible par rapport aux normes, donc, normalement il n'y a pas de risque de dépôt de silice sur les parois de la chaudière qui provoque les points chauds ou l'aération différentielle.

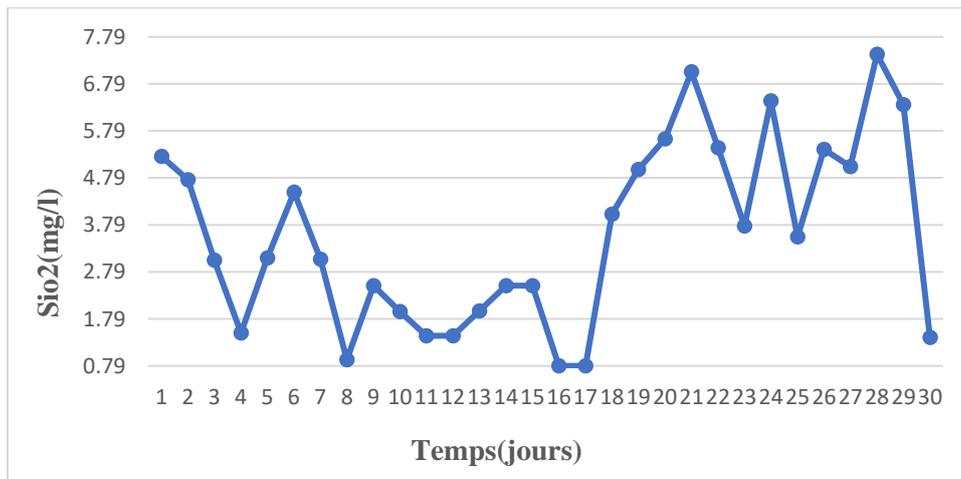


Figure V.5 : variation de silice de l'eau de chaudière en fonction du temps.

V.3.6 La Concentration du [Na OH];[P2O5] :

Pour éviter la corrosion et former une couche protectrice sur les surfaces métalliques du système de chaudière, nous ajoutons du phosphate à l'eau de chaudière, par contre on ajoute la soude libre pour maintenir le pH approprié dans le système, car si le pH est dans les normes cela permet d'éviter la corrosion et la formation de dépôts, et ainsi de préserver l'équipement.

La figure V.6 est V.7. Montre la variation de concentration de la soude libre et de phosphate respectivement. Si on compare les deux courbes de phosphates et de la soude libre nous remarquerons qu'il y'a une relations de proportionnalité, c'est-à-dire si la teneur en phosphate tri sodique augmente, la soude aussi augmente.

Les résultats obtenus présentent que l'injection du phosphate tri sodique libère du Na OH dans la chaudière selon la réaction suivante :

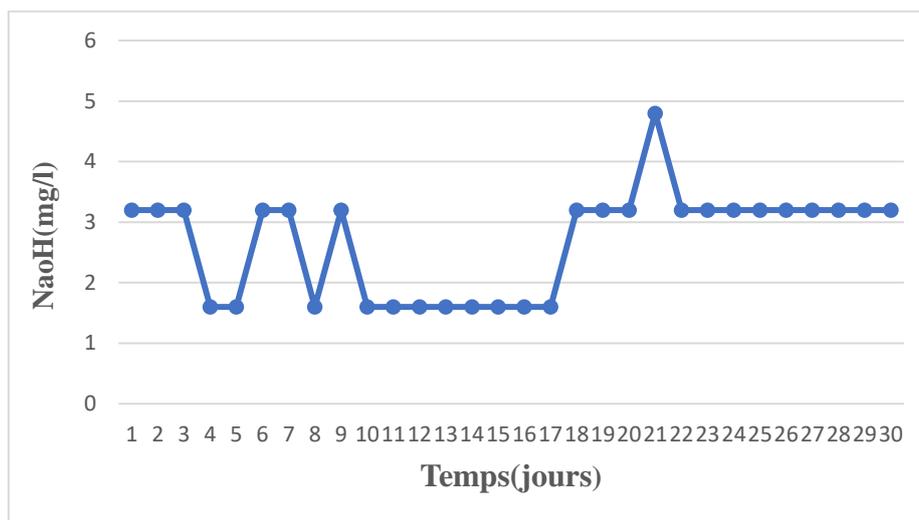
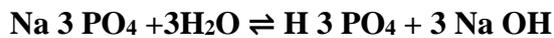


Figure V. 6 : variation de la soude libre de l'eau de chaudière en fonction du temps.

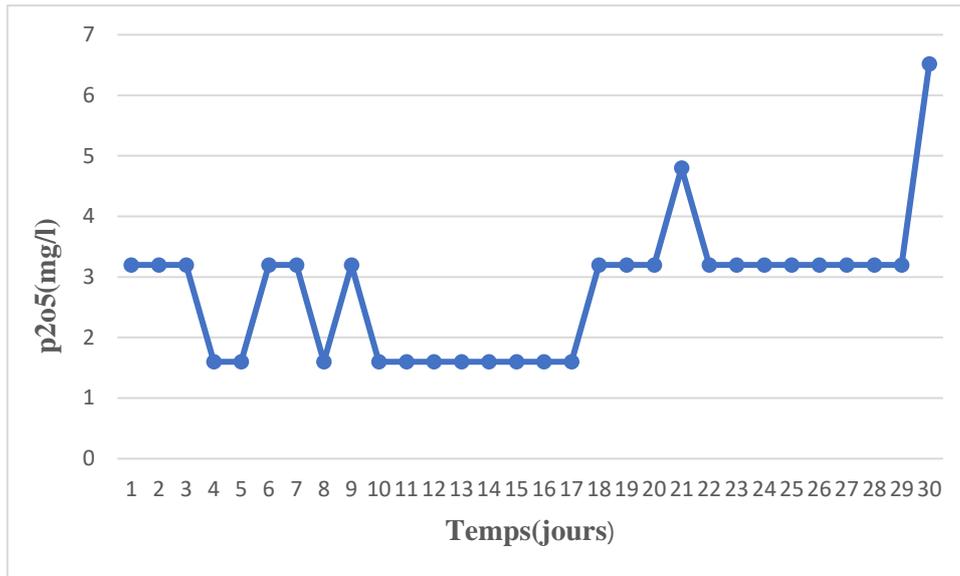


Figure V.7 : variation de phosphate de l’eau de chaudière en fonction du temps.

V.3.7.La variation de conductivité :

La conductivité de l’eau dans une chaudière est essentielle car elle peut indiquer la présence de contaminants ou de dépôts minéraux au peuvent affecter l’efficacité et la durée de vie de la chaudière. **La figure V.8.** Présente la variation de conductivité de l’eau de chaudière en fonction du temps. On observe que la valeur de la conductivité dans l’eau de chaudière n’est pas stable. Peut être due à plusieurs facteurs, notamment la concentration des ions dissous, la température de l’eau, et la présence de contaminants, on surveillant et en contrôlant ces facteurs, on peut maintenir la conductivité pour assurer un fonctionnement efficace de la chaudière.

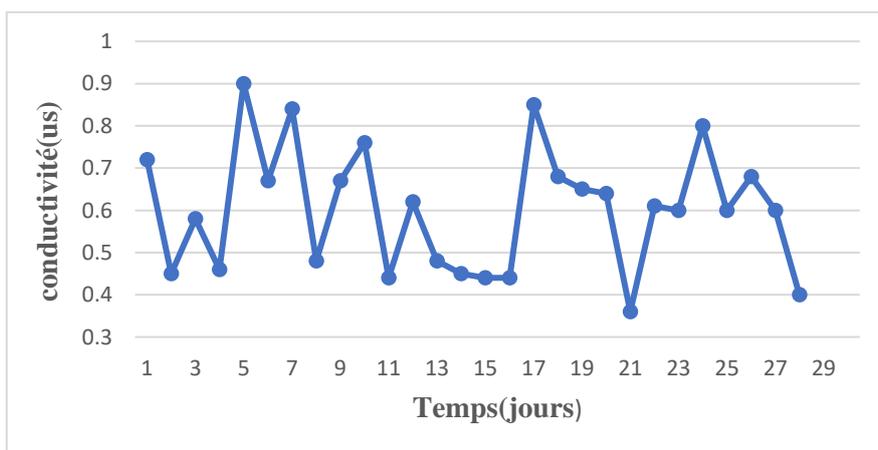
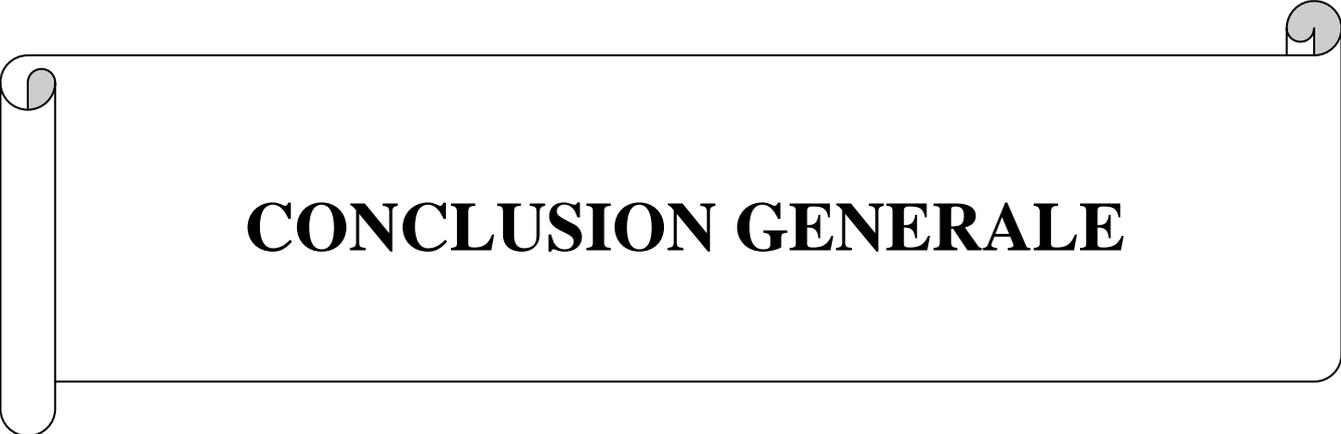


Figure V. 8 : variation de conductivité de l’eau de chaudière en fonction du temps.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and rounded corners on the right, framing the central text.

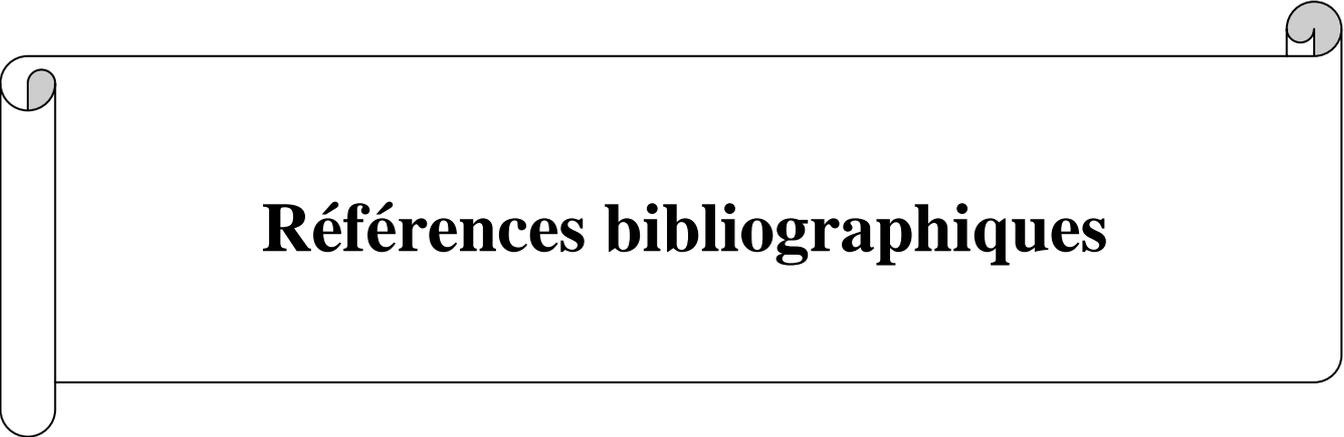
CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

Le stage de fin d'études de Master (II) réalisé à l'entreprise « Ferial-Annaba » a été bénéfique à plus d'un titre. En effet, il m'a permis de découvrir le monde du travail et ses prérogatives, l'appareillage de production, les différents laboratoires et leurs spécificités, mais aussi distinguer les différences d'approche et de mentalité industrielle et universitaire.

Comme nous le savons que la qualité de l'eau occupent un rôle essentielles dans la plupart des applications industrielles, grâce à notre étude sur le processus de déminéralisation, il nous permet d'étudier comment réaliser les analyses nécessaires pour le traitement des eaux afin de déterminer sa qualité et si elle est adaptée à un usage industrielles.

Les paramètres de qualité visés par cette étude sont ceux liés aux effets des équilibres calco-carboniques de l'eau (TA et TAC), l'effet d'entartrage et d'incrustation (TH, pH) et ceux de corrosion (conductivité, chlorures). Pour cela plusieurs équipements et techniques analytiques, ont été employées. Les résultats de ces analyses montrent que l'ensemble des paramètres de contrôle effectués répondent aux exigences de normalisation des eaux déminéralisées. Ainsi l'eau déminéralisée obtenue par échangeur d'ions de l'eau de mer dessalé est non incrustante, non agressive et non corrosive ; pouvant être employée pour le système de production et instrumentations. En perspective, il serait souhaitable de réaliser la même démarche analytique sur d'autres eaux et utilisé d'autres techniques, afin de se rassurer de la bonne qualité des eaux traitées.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and rounded corners on the right, framing the text.

Références bibliographiques

Référence bibliographies :

[1] : **Touati Sihem, 2006, AVRIL 13.** société/qui-sommes-nous/Qui sommes-nous? Récupéré sur www.fertial-dz.com: <http://www.fertial-dz.com/societe/qui-sommes-nous/>

[2] : Localisation de Fertial par rapport à la ville d'Annaba. Disponible sur : <https://www.google.com/maps>.

[3] : **Talbi N 2013** .Estimation du temps de cycle d'un d'ioniseur, Élaboration d'un programme sous EXCEL. Mémoire fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état, Département génie des procédés, Université Badji Mokhtar-Annaba.

[4] : <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/6142/eau-de-mer>

[5] : <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/terre-composition-chimique-eau-mer-18637/>

[6] : **LE CALVÉ mai 2002.** Propriétés Physiques du Milieu Marin, Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var, France.

[7] : **Eulmi A 2020** .Traitement des eaux résiduaires de Laiterie par Electrocoagulation et Couplage en mode dynamique. Thèse de doctorat, université Badji Mokhtar Annaba.

[8] : **Rodier J. Bazin C, Broutin J. P, Champsaur H. et Rodi L, 2005.** L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. 8eme édition: Dunod, Paris.

[9] :**MOULIN, B 2004.** Le kayak et la mer, édition le Canotier.

[10] : **HAMEL L 2013.** Etude physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source « Sidi Bouyashak» destinée à la consommation humaine de la population de Tlemcen. Mémoire de Master en Sciences des aliments, Université ABOUBEKR Belkaid TLEMEN.

[11] :**HCEFLCD 2006.** Etude sur la pisciculture au barrage Almassira, dar CHAFAAI, Cercle d'ELBROUGE, Province de Settat.

[12] : **Chapman D, Kimstach .V 1996.** Selection of water quality variables. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London.

[13] :**KIRDA.C. 1997** .Assessment of irrigation water quality.

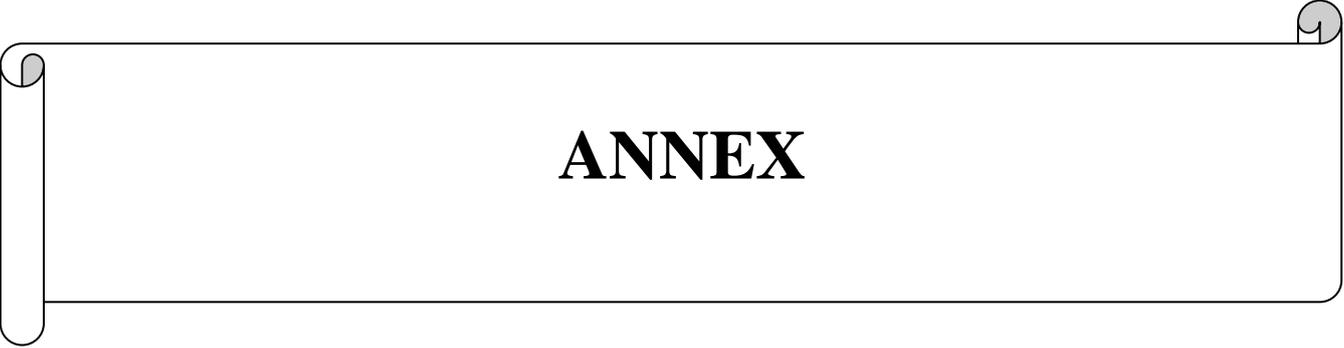
[14] : **CCME, Conseil canadien des ministres de l'environnement 1996.**Annexe XXII Recommandations pour la qualité des eaux au Canada : mise à jour (décembre 1996), recommandations provisoires pour la qualité des eaux marines et estuariennes concernant des variables générales, dans Recommandations pour la qualité des eaux au Canada, Conseil canadien des ministres des ressources et de l'environnement. 1987. Préparée par le Groupe de travail sur les recommandations pour la qualité des eaux.

[15] :<http://www.safewater.org/french-operation-water-drop/2017/5/17/analyse-de-la-duret-totale-de-l'eau-pour-l'mentaire> (Consulté le 05/06/2022).

[16] : **DEGREMONT 1989.** Memento technique de l'eau. Edition du cinquantenaire, 9eme édition, Tome 1.

- [17] : **Desjardins Raymond. 1990.** Le traitement des eaux Editions de l'Ecole Polytechnique de Montréal.
- [18] : **Ould Kankou. 2004.** Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie. Thèse de Doctorat, l'université de limoges, option Chimie et Microbiologie de l'Eau. France.
- [19] : **M.TARDAT-HENRY.1984.** Chimie des eaux Le Griffon d'argile.
- [21] : توزيع وتحليل أيونات الفلورور في المياه الصالحة للشرب وأهم الأغذية المستهلكة في الجنوب الجزائري: منطقة ورقلة نموذجاً مصطفى عمار 'قيس باوية 2017 اطروحة دكتوراه
- [20] : هامر مارك ج الماء وتقنية مياه الصرف / تأليف مارك ج . هامر ، هامر ، مارك ج . هامر (يونيو) ؛ ترجمة يوسف : [بيروت , لبنان] : المنظمة العربية للترجمة , 2011 رضوان ؛ مراجعة محمد عبد الستار الشخيلي
- [22] : **ALPHA. S. M, 2005.** Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDMSA dans la ville de Bamako, Thèse de doctorat en pharmacie, université de Bamako.
- [23] : **Mokeddem .K. OUDDANE.2005.** Qualité Physico-chimique Et Bactériologique De L'eau De Source Sidi Yaakoub (Mostaganem), Mémoire d'ingénieur institut de biologie – Mascara.
- [24] : **SAVARY P.2010 .**Guide des analyses de la qualité de l'eau, territorial éditions.
- [25] : <https://www.aquawal.be/fr/eau-et-microbiologie.html?IDC=549#:~:text=La%20qualit%C3%A9%20microbiologique%20de%20l'eau%20est%20%C3%A9valu%C3%A9e%20en%20mesurant,que%20dans%20les%20eaux%20souterraines.>
- [26] : **HASLAY C et LECLERC H. 1993.**Microbiologie des eaux d'alimentation, technique et documentation, édition Lavoisier, Paris.
- [27] : <https://www.franceenvironnement.com/sous-rubrique/demineralisation-de-l-eau.>
- [28] : http://dardel.info/IX/IX_Intro_FR.html.
- [29] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau_d%27min%C3%A9ralis%C3%A9e#:~:text=L'eau%20d%27min%C3%A9ralis%C3%A9e%20est%20une,son%20nom%20le%20laisse%20croire.
- [30] : **Khadîdja G 01/07/2017.**à Étude de la performance de la nouvelle station de déminéralisation de l'eau brute au niveau de la centrale thermique de Cap- Djinet. Mémoire Master, Université M'Hamed Bougera Boumerdes.
- [31] : Manuel opératoire. Centrale et Utilités II. FERTIAL-ANNABA.
- [32] : **Mr. Arbaoui Med Ali 2020.2021.** Contribution au traitement des sulfates de baryum par déminéralisation de l'eau d'injection dans le champ Hassi Messaoud.

- [33] : **Degré mont .2012** . Mémento technique de l'eau. 9 ème édition, Tome 1.
- [34] : **Dr. Menadjlia L 2018 .2019** . Etude qualitative de l'eau d'alimentation des équipements du complexe FERTIAL – ANNABA.
- [35] : **Degrémont .1978**. Mémento technique de l'eau. Edition Paris.
- [36]: **Best Water Technology. 2000**. Bwt group. Déminéralisation sur résine (les standards Permo), Service pub Permo.
- [37] : Bureau d'Etudes Industrielles Energies Renouvelables et Environnement édition BEIERE **2008-2009**.
- [38] :**Dehiba Abdiche .2005**, déminéralisation des eaux par échange ionique, Mémoire PFE en hydraulique, université de Tlemcen.
- [39] :**NFT90-008, Avril, 1953**. Norme française homologuée-Essai des eaux-Mesure électrochimique du pH avec l'électrode de verre.
- [40] : **NFT 90-0.003, Avril. 1958**. Norme française homologuée-Essai des eaux –Mesure de la dureté au réactif complexent.
- [41] :**NFT 90-023 septembre 1963**. Norme française- essai des eaux dosage spectrophotométrie des ortho phosphates et des poly phosphates.
- [42] : **NFT 90-007, juin 1950**.Norme française –essai des eaux –dosage de la silice.
- [43] : <https://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/ma115cond11.pdf>



ANNEX

Annexe

Tableau .n°1 :

pH	TAC °F	TA °F	Cond s/cm	TH °F
7	0.3	0	1.04	0
7	0.3	0	0.84	0
7	0.3	0	0.92	0
7	0.3	0	0.89	0
7	0.3	0	0.82	0
7	0.3	0	1.06	0
7	0.3	0	1.08	0
7	0.3	0	0.64	0
7	0.3	0	0.75	0
7	0.3	0	0.83	0
7	0.3	0	0.7	0
7	0.3	0	0.86	0
7	0.3	0	0.76	0
7	0.3	0	0.64	0
7	0.3	0	0.74	0
7	0.3	0	0.72	0
7	0.3	0	0.78	0
7	0.3	0	0.81	0
7	0.3	0	0.91	0
7	0.3	0	0.95	0
7	0.3	0	0.69	0
7	0.3	0	0.76	0
7	0.3	0	0.84	0
7	0.3	0	0.85	0
7	0.3	0	0.76	0
7	0.3	0	0.71	0
7	0.3	0	0.63	0
7	0.3	0	0.64	0
7	0.3	0	0.86	0
7	0.3	0	0.98	0
Moy 7	0,3	0	0,81	0

Tableau. N°2:

PH	TA °F	TAC °F	TH °F
8,3	0	0,5	0
8,3	0,2	0,7	0
8,4	0	0,5	0
8	0	0,4	0
8	0	0,4	0
8,3	0	0,5	0
8,2	0	0,4	0
7,5	0	0,3	0
8,6	0,2	0,8	0
8	0	0,5	0
8	0	0,4	0
8,5	0,1	0,6	0
8,5	0,2	0,7	0
8,6	0,2	1	0
8	0	0,4	0
8,2	0	0,5	0
9	0,5	1	0
9	0,6	1,2	0
8,8	0,5	1,3	0
8,6	0,3	0,9	0
9	0,6	1,2	0
8,8	0,4	1,2	0
8,4	0,1	0,6	0
8,2	0	0,4	0
8	0	0,4	0
8	0	0,4	0
8	0	0,4	0
8,5	0	0,6	0
8,4	0,1	0,5	0
8,8	0,3	1,1	0
Moy			
8,36	0,14	0,66	0

Tableau. N°3:

TA °F	TAC °F	PH	Cl mg/l	SiO ₂ mg/l	TH °F	Na OH mg/l	P ₂ O ₅ mg/l	Cond uS/cm
1,5	3,4	10,2	0,9	5,25	/	3,2	3,2	0,72
2,8	6	10,3	0,9	4,75	/	3,2	3,2	0,45
2	4,2	10,3	0,9	3,04	/	3,2	3,2	0,58
1,3	2,5	10	0,9	1,49	/	1,6	1,6	0,46
1,7	3,5	10,2	1,35	3,09	/	1,6	1,6	0,9
2,9	6,1	10,3	1,35	4,49	/	3,2	3,2	0,67
1,8	3,5	10,1	0,9	3,06	/	3,2	3,2	0,84
0,6	1,6	10	0,45	0,92	/	1,6	1,6	0,48
1,4	3	10	1,35	2,5	/	3,2	3,2	0,67
0,8	2,2	10	0,9	1,95	/	1,6	1,6	0,76
0,9	1,7	10	0,9	1,43	/	1,6	1,6	0,44
0,8	2	10	0,9	1,43	/	1,6	1,6	0,62
0,6	1,4	9,2	0,9	1,96	/	1,6	1,6	0,48
1,5	3	10	0,9	2,5	0	1,6	1,6	0,45
1,5	2	10	0,9	2,5	0	1,6	1,6	0,44
0,5	5	8	0,9	0,79	0	1,6	1,6	0,44
0,3	6	8,8	0,45	0,79	0	1,6	1,6	0,85
3	7	10,3	0,9	4,02	0	3,2	3,2	0,68
3,2	6,6	10,3	0,9	4,97	0	3,2	3,2	0,65
1,7	3,8	10,1	0,9	5,62	0	3,2	3,2	0,64
4,6	9,4	10,4	0,9	7,05	0	4,8	4,8	0,36
2	5,1	10,2	0,9	5,43	0	3,2	3,2	0,61
1,7	4	10,2	0,9	3,77	0	3,2	3,2	0,6
2,7	7	10,2	0,9	6,43	0	3,2	3,2	0,8
1,7	3,7	10,2	0,9	3,54	0	3,2	3,2	0,6
2,8	5,3	10	0,9	5,4	0	3,2	3,2	0,68
3	6,2	10,3	0,9	5,03	0	3,2	3,2	0,6
4,3	9	10,4	0,9	7,42	0	3,2	3,2	0,4
3,7	8	10,4	0,9	6,35	0	3,2	3,2	/
0,9	2,5	10	0,9	1,4	0	3,2	6,52	/
Moy 1,94	4,5	10,08	0,91	3,61	0	2,66	2,77	0,6

Tableau 3: résultats d'analyses de l'eau de chaudière pendant 30 jours.