

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Technologie
Département : Génie des procédés
Domaine : Sciences et technologies
Filière : Génie des procédés
Spécialité : Génie chimique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX DE DEMINERALISATION
DE LA RAFFINERIE RA1/K DE SIKKDA**

Présenté par : *Allab Nour El Houda*
Hazmoune Anfel

Encadrant : *Lahmar Amina* Grade: MAB Université Badji Moukhtar Annaba

Jury de Soutenance :

Bechiri Ouahiba	Professeur	Université	Président
Lahmar Amina	MAB	Université	Encadrant
Khrouf Soumaya	MAB	Université	Examinateur

Année Universitaire : 2023/2024

REMERCIEMENTS

Premièrement, nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir accordé la volonté et le courage pour réaliser ce mémoire.

*Nous remercions nos très **chers parents**, qui ont toujours été là pour nous. Nous remercions nous **frères** et **sœurs**, pour leurs encouragements.*

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui nous voudrions témoigner toute notre gratitude.

*Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance à notre directrice de mémoire, madame **Lahmar Amina**. Nous la remercions de nous avoir encadrées, orientées, aidées et conseillées.*

*Nous désirons aussi remercier **Bassema** pour son hospitalité et sa générosité.*

Un grand remerciement à tous ceux qui nous ont aidés durant notre période de stage dans la raffinerie de skikda (RA1/K).

*A monsieur **Boulfroukhe Djamel**.*

*Au chef service **Laantri Mohamed** de la CTE2.*

*A **Abedli Rafik** et toute l'équipe de La CTE2.*

*A l'équipe du laboratoire **Khelifi Chamessedine, Amer, Bariza**.*

*A tous les **stagiaires** que nous connaissons durant la période de stage pratique.*

A nos amis pour leurs soutient.

Finalement,

*Un grand merci pour **nous-même**, qui ont travaillées dur pour ce travail et pris la peine d'arriver à ce moment malgré toutes les circonstances que nous avons vécues.*

Anfel et Nour El Houda



DEDICACES

Nous dédions ce modeste travail qui est le fruit de 19 Années d'étude

A nos chers et respectueux parents.

A nos frères et sœurs.

*A la famille **Alleb et Hazmoune.***

A tous nos amis.

A tous ceux qui nous sont chers.

A l'équipe du département Génie des procédés et la promotion génie chimique de l'année 2023/2024.

Nour El Houda et Anfel



LISTE DES SYMBOLES

g/cm³	Gramme par centimètres cube.
Pa/s	Pascal par seconde.
Erg/cm	Densité d'énergie par centimètre.
°C	Degré Celsius.
H₃O⁺	Ion Hydronium.
OH⁻	Hydroxyde.
S/m	Siemens par mètre.
mS/cm	Milli siemens par centimètres.
ERI	Eaux résiduaires industrielles.
MES	Matières en Suspension.
pH	Potentiel hydrogène.
H⁺	Hydrogène.
SO⁴⁻	Sulfate.
NO₃⁻	Nitrate .
CN⁻	Cyanures.
m³/L	Mètre cube par litre.
mm	Milli mètre.
MVS	Matières volatiles en suspension.
DCO	Demande chimique en oxygène.
K₂Cr₂O₇	Dichromate de potassium.
Ag⁺	Ion argent.
Hg⁺²	Mercure.
DBO₅	Demande biologique en oxygène dans 5 jours.
TAC	Titre alcalimétrique complet.
g/L	Gramme par litre.
Cl⁻	Chlorure.
DVB	Divinylbenzène.
nm	Nano mètre.
Å	Angstrom.
CF	Cationique d'acide fort.
AF	Résines anioniques Fortes.

LISTE DES SYMBOLES

Af	Résines anioniques faibles.
RCF	Résines cationique d'acide fort.
NaCl	Chlorure de sodium.
Cal	Calorie.
R	Résine.
WAC	Echangeur faible de cations acide (Weak Acid Bail exchanger).
CO₂	Dioxyde de carbone.
Ca²⁺	Ion de calcium.
Mg²⁺	Ions de magnésium.
SAC	Echangeur fort de cations acide (Strong Acide Cation exchanger)
H₂SO₄	Acid sulfurique.
H₂CO₃	Acid carbonic.
H₂SiO₃	Acid métasilicique.
SBA	Echangeur fort d'anion base (Strong Base Anion exchanger).
μS/cm	Micro siemens par centimètre.
μg/L	Micro gramme par litre.
H₂O	Molécule d'eau.
CFPA	Compagnie Française de Pétrole en Algérie.
S.N.E.P.Al	Société nationale de recherche et d'exploitation du pétrole.
SOPEG	Société pétrolière de Gérance.
GPL	Gaz de pétrole liquéfié.
Ko drum	Tambour à élimination directe.
CTE2	Centre thermoélectrique "2".
N₂	Azote.
TVR	Tension de vapeur reid.
TA	Titre alcalimétrique.
TH	Titre hydrotimétrique.
NH₃	Ammoniac.
H₂S	Sulfure d'hydrogène.
Na²⁺	Ion de sodium.
Pb²⁺	Ion de plomb.
HCl	Acide chlohydrique.
DM	Déminéralisation.
m³/hr	Mètre cube par heure.

LISTE DES SYMBOLES

2B3T	Déminéraliseur 2 lits avec dégazeur.
MBP	Poliseur à lit mixte (Mixed Bed Polisher).
CPU	Unité de polissage de condensat (Condensate Polishing Unit).
EPC	Contrôle électronique de la puissance
PLC	Contrôleur logique programmable
CCR	Centre de contrôle régional
MB	Lit mixte (Mixed bed)
Mbs	Lit mixte saturé (Mixed Bed Saturated)
WBA	Echangeur faible d'anion base (Weak base Anion exchanger).
DEG	Dégazeur.
ETP	Station d'épuration des influents liquide.
PVC	Polyvinyl chloride.
V	Volume.
mL	Milli litre.
ppm	Partie par million.
AgNO₃	Nitrate d'Argent.
HgNO₃	Nitrate de mercure.
ANS	Acide amino naphtol Sulfonique.
L	Longeur .
KCl	Chlorure de potassium.
(63-P-23A~C)	Pompe d'eau Déminéralisée.
(63-V-21 A/B/C)	Tour de dégazage.
(63-V-25 A/B/C/D/E)	Echangeur de cations acide.
(63-P-21 A/B/C/D/E)	Pompe d'eau dégazée.
(63-V-26 A/B/C/D/E)	Echangeur d'anion.
(63-V-27 A/B/C/D/E)	Echangeur à lit mixte.
(63-K-22A/B/C)	Souffleur de lit mixte.
(63-E-25 A/S)	Echangeur de chaleur à plaque.
(63-E-24A/B)	Echangeur de chaleur à plaque.
(63-S-25A/B)	Bac de mesure/dilution d'alcali.
(1031-P-3 A/B/C)	La pompe d'alimentation d'eau déminéralisée.
(63-S-22A/B)	Bac de mesure d'acide.
(63-P-2 A/B)	Pompe de transfert d'alcali.
(1061-K-21 A/B)	Soufflantes pour les échangeurs à lit mélange.

LISTE DES FIGURES

<i>Figures</i>	<i>Titres</i>	<i>Pages</i>
Figure I.1	Carte géographique SONATRACH en Algérie.	3
Figure I.2	Situation géographique de la raffinerie RA1/K de Skikda.	5
Figure I.3	Organigramme de configuration hiérarchique de la direction de la RA1/K.	6
Figure I.4	Programme de système de déminéralisation.	12
Figure I.5	Station de déminéralisation.	12
Figure II.1	La résine styrène.	18
Figure II.2	Résine échangeuse d'ions positifs fournie avec le groupe acide sulfonique.	18
Figure II.3	Processus de déminéralisation industriel dans la RA1/K.	19
Figure II.4	Décationisation.	20
Figure II.5	D'ionisations.	20
Figure II.6	Schéma d'unité de déminéralisation d'eau industriel.	21
Figure III.1	Variation du pH avant et après déminéralisation.	28
Figure III.2	Variation de la conductivité avant et après déminéralisation.	29
Figure III.3	Variation de la température avant et après déminéralisation.	30
Figure III.4	Variation du TH avant et après déminéralisation.	31
Figure III.5	Variation du calcium avant et après déminéralisation.	31
Figure III.6	Variation du magnésium avant et après déminéralisation.	32
Figure III.7	Variation du chlorure avant et après déminéralisation	33
Figure III.8	Variation du titre alcalimétrique avant et après déminéralisation.	34
Figure III.9	Variation du titre alcalimétrique complet avant et après déminéralisation.	34
Figure III.10	Variation du Fer avant et après déminéralisation.	35
Figure III.11	Variation du cuivre avant et après déminéralisation	36
Figure III.12	Variation de silice avant et après déminéralisation.	37
Figure III.13	Variation du pH avant et après déminéralisation en fonction du temps.	38
Figure III.14	Variation de la conductivité avant et après déminéralisation en fonction du temps.	38
Figure III.15	Variation de la silice avant et après déminéralisation en fonction du temps.	39
Figure III.16	Variation du Fer avant et après déminéralisation en fonction du temps.	39
Figure III.17	Variation du chlorure avant et après déminéralisation en fonction du temps.	40

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableaux</i>	<i>Titres</i>	<i>Pages</i>
Tableau I.1	La capacités de production de la raffinerie RA1/K.	4
Tableau I.2	Sections de laboratoire de RA1/K.	10
Tableau I.3	Eau dessalée (eau brute).	13
Tableau I.4	Qualité de l'eau de barrage (eau brute existante).	14
Tableau I.5	Qualité de l'eau déminéralisée (DM).	14
Tableau II.1	Les différentes méthodes d'analyse.	25
Tableau II.2	Caractère de l'eau selon (TH).	26
Tableau III.1	Résultats d'analyse d'eau avant et après déminéralisation.	52
Tableau III.2	Résultats d'analyse d'eau avant déminéralisation.	53
Tableau III.3	Résultats d'analyse d'eau après déminéralisation.	54

Résumé

L'objectif de cette étude consiste à étudier la performance de la station de déminéralisation de l'eau brute par échange d'ions au sein de la raffinerie (RA1/K) de Sonatrach, Skikda.

Le procédé d'échange d'ions pour la déminéralisation est une méthode largement utilisée pour purifier l'eau en éliminant les sels dissous, afin de prévenir la corrosion et le tartre dans les circuits et canalisations. Ce processus implique le passage de l'eau brute à travers des filtres cationiques et anioniques, chaque lit de résine nécessitant une régénération régulière.

Les résultats des paramètres physico-chimiques analysés tels que : (pH, conductivité, TH, TA, TAC, Silice, Fer, Calcium, Magnésium Chlorure et Cuivre) indiquent une excellente qualité de l'eau produite, démontrant ainsi l'efficacité des techniques employées.

Mots-clés : Déminéralisation, échange d'ion, résines, RA1/K.

Abstract

The objective of this study is to study the performance of the raw water demineralization station by ion exchange within the refinery (RA1/K) of Sonatrach, Skikda.

The ion exchange process for demineralization is a widely used method to purify water by removing dissolved salts, to prevent corrosion and scale in circuits and pipes. This process involves passing raw water through cationic and anionic filters, with each resin bed requiring regular regeneration.

The results of the physicochemical parameters analyzed such as (pH, conductivity, TH, TA, TAC, Silica, Iron, Calcium, Magnesium, Chloride and copper) indicate excellent quality of the water produced, thus demonstrating the effectiveness of the techniques employees.

Keywords: Demineralization, ion exchange, resins, RA1/K.

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو دراسة أداء محطة تنقية المياه الخام عن طريق التبادل الأيوني داخل مصفاة بسوناطراك بولاية سكيكدة.

تعد عملية التبادل الأيوني لإزالة المعادن طريقة مستخدمة على نطاق واسع لتنقية المياه عن طريق إزالة الأملاح الذائبة، لمنع التآكل والحجم في الدوائر والأنابيب. تتضمن هذه العملية تمرير المياه الخام من خلال مرشحات كاتيونية وأنيونية، حيث تتطلب كل طبقة راتينج تجديدًا منتظمًا.

تشير نتائج العوامل الفيزيائية والكيميائية التي تم تحليلها مثل: (الرقم الهيدروجيني، الناقلية، تصلب الماء، محتوى الكربونات، محتوى الكربونات و البيكربونات ، السيليكا، الحديد، الكالسيوم، المغنيسيوم والكلور) إلى جودة ممتازة للمياه المنتجة، مما يدل على فعالية موظفي التقنيات.

الكلمات المفتاحية: إزالة المعادن، التبادل الأيوني، الراتينات، RA1/K

TABLE DES MATIERES

Remerciements

Dédicaces

Liste des symboles

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

Introduction générale..... 1

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.1. Introduction 2

I.2. Historique de la société SONATRACH 2

I.3. Aperçu sur la raffinerie de Skikda (RA1/K) 4

I.3.1. Présentation de la raffinerie (RA1/K) 4

I.3.2. Localisation de la raffinerie (RA1/K) 4

I.3.3. Organisation hiérarchique de l'administration à la raffinerie de Skikda..... 5

I.3.4. Composition du complexe raffinerie (RA1/K) 7

I.3.5. Laboratoire d'analyse à la raffinerie de SKIKDA..... 9

I.4. Station de déminéralisation..... 11

I.4.1. Généralité sur la station DM..... 11

I.4.2. Capacité de la station DM 12

I.4.3. Qualité de l'eau d'alimentation de la station de DM..... 13

I.4.5. Qualité de l'eau déminéralisée..... 14

I.5. Conclusion..... 15

CHAPITRE II : ETUDE DE L'EFFICASITE DE TRAITEMENT DES EAUX PAR DEMINERALISATION

II.1. Introduction..... 16

II.2. Résines échangeuses d'ions..... 16

II.2.2. Principaux procédés d'échange d'ions en traitement des eaux..... 18

II.3. La déminéralisation 18

II.3.1. Principe de fonctionnement de la déminéralisation dans la station DM..... 19

II.3.2. Service d'unité de déminéralisation de la station DM 21

II.3.3. Polisseur à lit mixte (MB) utilisé dans la station DM..... 22

II.3.4. Système de régénération dans la station DM..... 23

II.3.5. Neutralisation et transfert d'effluent dans la station DM..... 23

II.3.6. Dosage de Morpholine dans la station DM	23
II.4.1. Méthodes d'analyses effectuée dans le laboratoire de la RA1/K	24
II.5. Paramètres physicochimique analysés	24
II.5.1. Potentiel hydrogène (pH)	25
II.5.2. La conductivité	25
II.5.3. La Température.....	25
II.5.4. Le titre hydrotimétrique (TH).....	25
II.5.4.1. Types de dureté	25
II.5.6. Le titre Alcalimétrique (TA).....	26
II.5.7. Le titre Alcalimétrique Complet (TAC).....	26
II.5.8. Le Fer	26
II.5.10. La teneur en Silice	26
II.5.11. La teneur en chlorures	27
II.6. Conclusion.....	27

CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Introduction.....	28
III.2. Variation de pH.....	28
III.3. Variation de la conductivité.....	29
III.4. Variation de la température.....	30
III.5. Variation de TH.....	30
III.6. Variation de Ca ²⁺	31
III.7. Variation de Mg ²⁺	32
III.8. Variation de Chlorure.....	32
III.9. Variation du Titre alcalimétrique (TA).....	33
III.10. Variation du Titre alcalimétrique complet (TAC).....	34
III.11. Variation du Fer.....	35
III.12. Variation du Cuivre	35
III.13. Variation de Silice.....	36
III.14. Résultats du Suivi d'analyse de l'eau avant et après déminéralisation	38
Conclusion générale.....	42
Références bibliographiques.....	43
Annexe.....	45

Introduction générale

L'eau est une ressource fondamentale dans l'industrie, jouant un rôle crucial dans une multitude de processus de fabrication et d'exploitation. En effet, l'eau est essentielle à de nombreux aspects de la production industrielle, allant de la transformation des matières premières à la génération d'énergie.

Dans le contexte de l'industrie pétrolière, la raffinerie de Skikda occupe une place centrale en tant que site majeur de traitement du pétrole brut. Au cœur de ses opérations se trouve un processus complexe impliquant diverses étapes de transformation, de la distillation à la conversion chimique, pour produire une gamme variée de produits pétrochimiques et de carburants. Tout au long de ces processus, l'eau déminéralisée joue un rôle vital en tant que fluide de refroidissement, dans les chaudières, solvant et réactif dans plusieurs unités opérationnelles.

Dans les sources d'eau naturelle on trouve une variété de sels dissous formant des ions chargés positivement (cations) et des ions chargés négativement (anions). La présence d'impuretés ioniques peut avoir des répercussions sérieuses sur la fiabilité et l'efficacité des chaudières et des systèmes de traitement. L'accumulation de tartre ou de dépôts causée par ces impuretés peut entraîner une surchauffe, provoquant ainsi des défaillances critiques des tubes, des pertes de production onéreuses et des arrêts imprévus. Les ions de dureté, tels que le calcium et le magnésium, doivent être éliminés de l'eau d'alimentation des chaudières avant leur utilisation. Pour les systèmes de traitement de l'eau d'alimentation des chaudières à haute pression, ainsi que pour de nombreux autres systèmes de traitement, il est nécessaire d'éliminer quasiment tous les ions, y compris le dioxyde de carbone et la silice.

Pour éliminer les ions dissous dans l'eau, différentes techniques et méthodes sont utilisées, parmi ces techniques, la raffinerie de Skikda (RA1/K) utilise les résines échangeuses d'ions dans la déminéralisation de ces eaux.

L'objectif de cette étude est de suivre la qualité de l'eau déminéralisée dans la CTE2 de la raffinerie du complexe pétrochimique de SKIKDA, et de vérifier l'efficacité de ce traitement à l'entrée et à la sortie de la station DM, en réalisant des analyses de contrôle de qualité et les comparer avec les normes requises.

Pour atteindre cet objectif, ce travail se compose de trois chapitres :

- ✓ Le 1^{er} chapitre : Présentation de la zone d'étude.
- ✓ Le 2^{ème} chapitre : Etude de l'efficacité de traitement des eaux par déminéralisation.
- ✓ Le 3^{ème} chapitre : Résultats et discussion.

A la fin de ce manuscrit, une conclusion générale est élaborée.

CHAPITRE I

Présentation de la zone d'étude

I.1. Introduction

L'essentiel de l'industrie pétrolière repose sur le processus de raffinage, lequel englobe divers traitements et transformations destinés à maximiser l'extraction de produits à forte valeur marchande à partir du pétrole, en fonction des buts recherchés. Habituellement, ces opérations se déroulent au sein d'une raffinerie, lieu dédié au traitement du pétrole brut pour en séparer les composants vendables. À l'heure actuelle, la société nationale spécialisée dans le raffinage du pétrole supervise l'opération de cinq raffineries implantées dans les localités suivantes : Alger(RA1/G), Adrar(RAD), Arzew (RA1/Z), Hassi Messaoud(RHM) et Skikda(RA1/K) [1].

Le cœur de la raffinerie de Skikda (RA1/K) est une unité de déminéralisation connue sous le nom de "DM", a été initiée en début d'année 2010 par la société coréenne "SAMSUNG", en partenariat avec SONATRACH. Elle a été opérationnelle dès janvier 2013. Son objectif principal est de transformer l'eau potable issue du barrage en une eau d'une pureté exceptionnelle [2].

Dans ce chapitre on se focalise sur la description de la raffinerie (RA1/K) et particulièrement sur la station de déminéralisation "DM".

I.2. Historique de la société SONATRACH

En 1959, sous l'égide de la Compagnie Française de Pétrole en Algérie (CFPA) et de la Société Nationale de Recherche et d'Exploitation du Pétrole en Algérie (S.N.E.P.Al), est fondée la Société Pétrolière de Gérance (SOPEG) avec son siège à Paris, France. Jusqu'en 1971, SOPEG avait la responsabilité de gérer le transport de pétrole via un pipeline depuis Haoud El Hamra (Hassi Massaoude) jusqu'au terminal de Bejaia. La création de SONATRACH le 31 décembre 1963, par le décret 63-491, marque une étape cruciale post-indépendance, se concentrant initialement sur le transport et la commercialisation des hydrocarbures [3].

SONATRACH était destinée à devenir le bras opérationnel de l'État dans l'industrie pétrolière, avec des objectifs clairs tels que la préparation des études pour la construction d'infrastructures de transport d'hydrocarbures, la gestion et l'exploitation de ces infrastructures et des installations connexes, ainsi que l'achat et la vente d'hydrocarbures. Le décret du 22 septembre 1966 a élargi les missions de SONATRACH à inclure la recherche et la transformation des hydrocarbures, renforçant son rôle dans le secteur [3].

La nationalisation complète du secteur des hydrocarbures en 1971 par l'État visait à optimiser l'efficacité économique, menant à une restructuration majeure de SONATRACH en 1981. Cette période a été caractérisée par une expansion significative des activités d'exploitation, le développement d'infrastructures, et la construction de raffineries et d'autres installations pour la production de dérivés d'hydrocarbures. La réorganisation a abouti à la création de 18 entreprises, enrichissant le portefeuille d'activités de SONATRACH, qui s'est diversifiée dans la recherche, l'exploitation, la liquéfaction du gaz, la commercialisation et le transport par pipeline [3].

Face aux changements économiques des années 1990, tant sur le plan national qu'international, SONATRACH a lancé le projet « PROMOS » pour moderniser ses opérations, l'élevant au niveau des grands acteurs internationaux du secteur pétrolier. Aujourd'hui, SONATRACH joue un rôle stratégique dans la recherche, la production, le transport, la liquéfaction du gaz naturel, l'approvisionnement du marché national, et la commercialisation internationale d'hydrocarbures, exportant vers des pays comme la France, l'Italie, le Canada...etc [3].

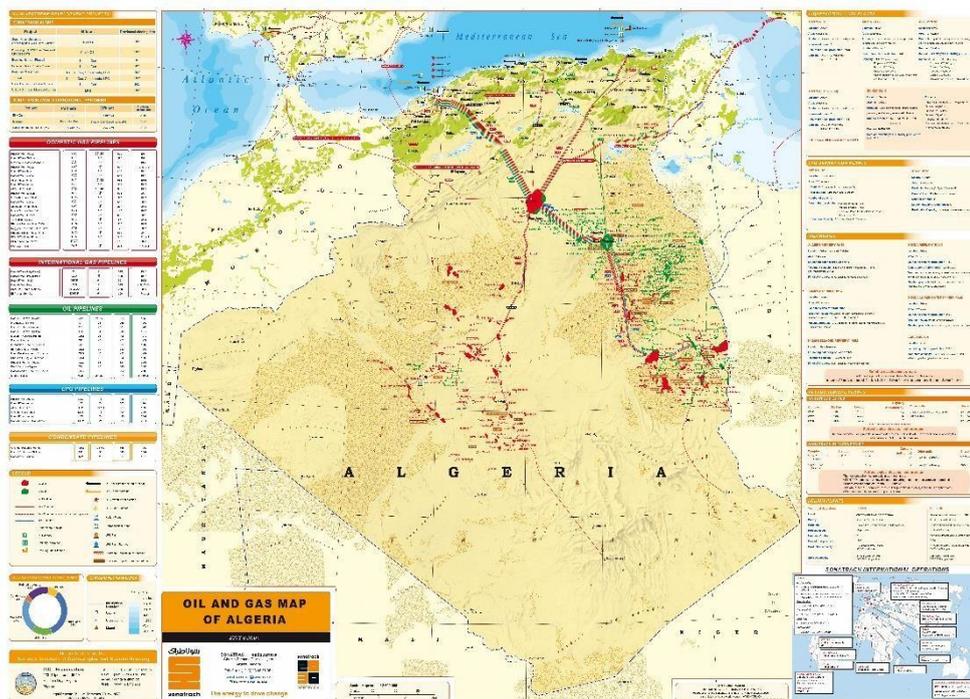


Figure I.1 : Carte géographique SONATRACH en Algérie [4].

I.3. Aperçu sur la raffinerie de Skikda (RA1/K)

I.3.1. Présentation de la raffinerie (RA1/K)

Le complexe de raffinerie de pétrole de SKIKDA, baptisé RA1/K consiste à convertir le pétrole brut de Hassi Messaoud en fractions pétrolières finies ou semi-finies, pouvant être valorisées sur les marchés intérieurs et extérieurs. Initialement conçue pour traiter 15 000 000 t/an, sa capacité de traitement a été augmentée à 16 500 000 t/an suite à sa rénovation, faisant d'elle la plus grande raffinerie d'Afrique.

De plus, elle traite également du brut réduit importé, avec une capacité de 277 000 t/an, pour produire des bitumes routiers et oxydés [2].

Tableau I.1 : Capacités de production de la raffinerie RA1/K [2].

	Avant Réhabilitation (KMTA)	Après Réhabilitation (KMTA)
GPL	365.000	748.000
Ess. Normale	700.000	800.000
Ess. Super Pb	300.000	-
Ess. Sans Plomb	1.180.000	1.330.000
Naphta	1.700.000	2.079.000
Kéro/Jet	1.500.000	1.510.000
Gasoil	4.250.000	4.714.000
Fuel BTS	4.300.000	4.648.000
Fuel HTS	100.000	100.000
Benzène	40.000	197.000
Toluène	11.000	16.000
Mélange Xylène	120.000	-
Paraxylène	40.000	220.000
Bitume Routier	150.000	150.000
Bitume Oxydé	15.000	15.000

I.3.2. Localisation de la raffinerie (RA1/K)

La raffinerie de SKIKDA se trouve dans la zone industrielle, à 7 km à l'est de Skikda et à 2 km de la côte. Elle s'étend sur une superficie de 190 hectares et compte actuellement 1280 employés. Elle est approvisionnée en brut algérien par l'unité de transport U.T.E de Skikda, une station intermédiaire située à HASSI MESSAOUD.

Le transport du pétrole brut s'effectue via un pipeline d'un diamètre de 27 pouces, sur une distance de 640 km entre les champs pétroliers et la raffinerie de Skikda. [5].

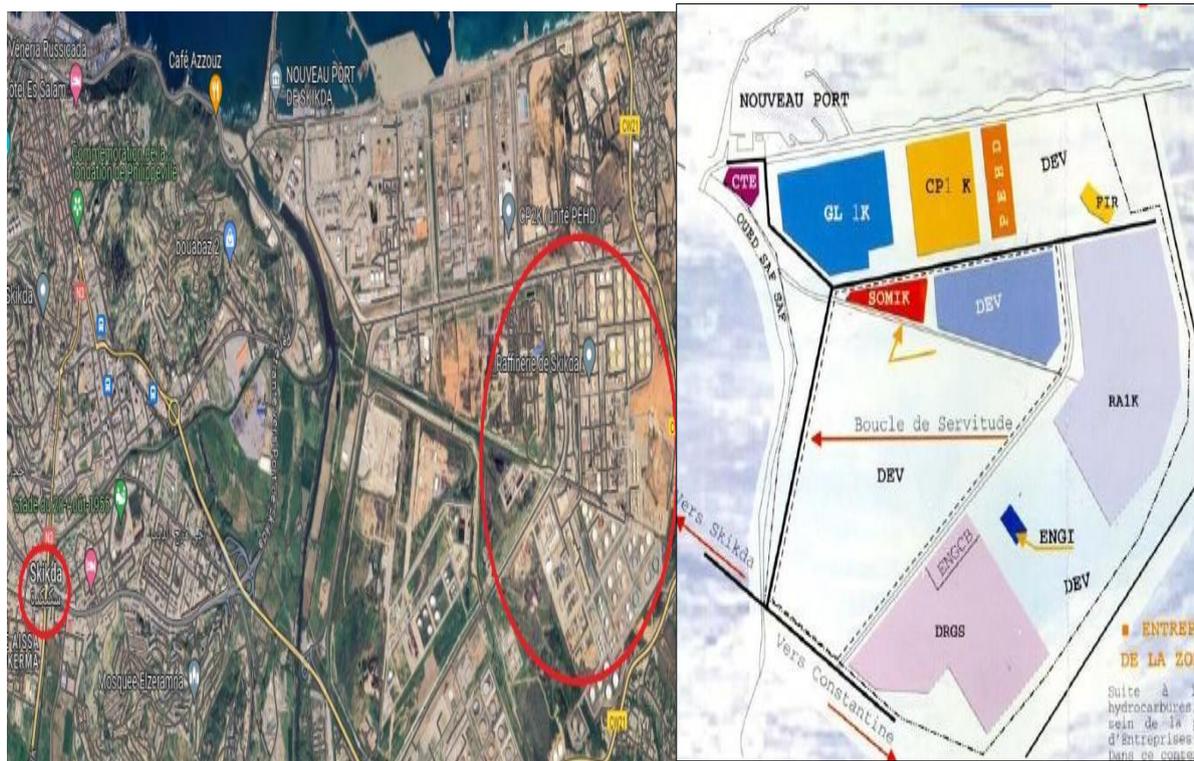


Figure I.2: Situation géographique de la raffinerie de Skikda RA1/K [6].

I.3.3. Organisation hiérarchique de l'administration à la raffinerie de Skikda

La configuration hiérarchique de la direction de la raffinerie de SKIKDA est conçue avec un directeur à sa tête, supervisant cinq services opérationnels ainsi que deux services de support, comme illustré dans l'organigramme ci-dessous [6].

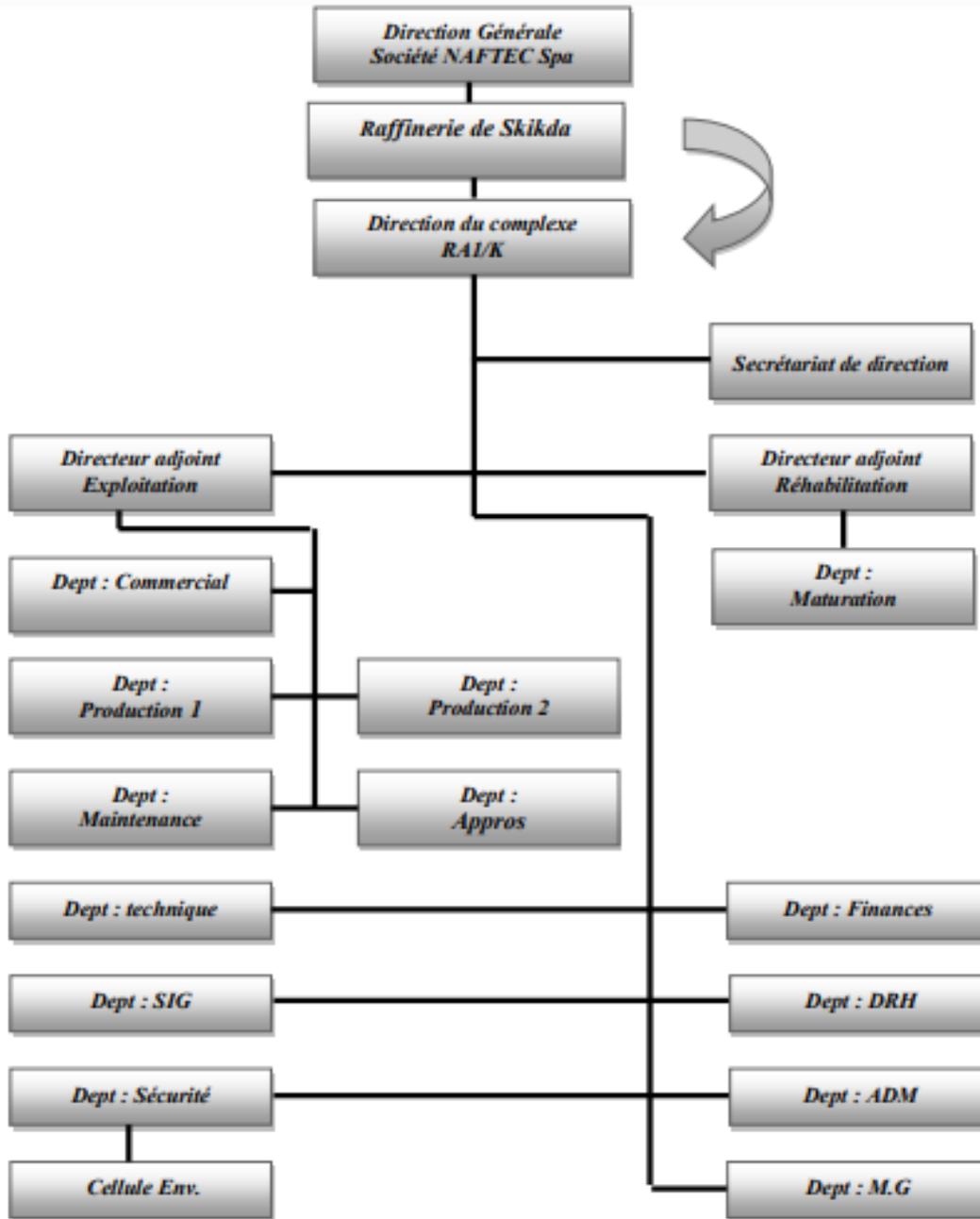


Figure I.3 : Organigramme de la configuration hiérarchique de la direction de la raffinerie de SKIKDA [6].

I.3.4. Composition du complexe raffinerie (RA1/K)

La raffinerie de Skikda est constituée de plusieurs unités [2]

- Les unités **U10/11** (Topping) de distillation atmosphérique (15000 000 t/an).
- Les unités (**U100 et U103**) de reforming catalytique (2330 000 t/an).
- L'unité de distillation sous vide **U70** (unité de production des bitumes 277 000 t/an).
- Les unités **U30/31/104** de traitement et séparation des gaz.
- L'unité **U400** de séparation du paraxylène.
- L'unité **U200** de séparation des aromatiques (285 000 t/an).
- Les unités **U700/701 et 702/703** d'isomérisation du naphta.
- L'unité **U900** de purification d'hydrogène.
- L'unité **U500** d'isomérisation des xylènes (méta et ortho).
- Deux parcs de stockage du brut et des produits pétroliers.
- **Unité service utilités** [2]

- **Unité melexe U600**

La raffinerie dispose d'une capacité de stockage d'environ 2,5 millions m³. Elle est équipée pour réaliser le blending (mélange) et l'exportation des produits finis.

- **Unité 1090 "Torche"**

Ce système est conçu pour récupérer les émissions des soupapes de sécurité, équipé d'un tambour séparateur (KO drum) pour diviser la phase gazeuse du liquide. Les gaz sont dirigés vers la torche via un dispositif de retenue hydraulique, alors que les liquides sont transférés vers la zone de rétention (slop) à l'aide de pompes.

- **Unité 1080 Système d'air comprimé**

Il approvisionne en air tous les secteurs de l'établissement, fournissant l'air nécessaire aux instruments et aux services. Cette installation englobe une station de compression, une station de séchage, ainsi qu'un réseau de distribution d'air séché destiné aux divers services.

- **Unité 1070 Fuel gaz**

Cette section approvisionne la centrale en fuel gas destiné à la combustion. Ce combustible gazeux est acheminé vers les fours présents dans chaque installation de traitement.

- **Unité 1010 de dessalement**

L'eau de mer subit un processus de traitement dans l'unité de dessalement. Après avoir été dépourvue de ses sels, elle passe par une étape de déminéralisation, puis elle est soumise à un traitement à la morpholine pour ajuster le pH. Ensuite, elle est dirigée vers le dégazeur avant d'être acheminée vers l'unité 1050 pour un traitement ultérieur, avant d'être utilisée comme alimentation pour les chaudières.

- **Unité 1050: Système génération de vapeur (Les chaudières)**

Cette unité fournit l'eau dégazée essentielle à la génération de la vapeur. La vapeur dans l'ensemble de la raffinerie est ensuite répartie en trois réseaux distincts de distribution, à savoir haute, moyenne et basse pression.

- **Unité 1020 système de refroidissement**

Cette unité est conçue pour refroidir et traiter chimiquement l'eau douce circulant en circuit fermé, utilisée pour le refroidissement dans les échangeurs thermiques et les équipements auxiliaires.

- **Unité 1060 système de récupération de condensât**

Les condensats à haute et moyenne pression sont récupérés et soumis à un processus de flash, où la partie vaporisée est dirigée vers le réseau basse pression. Ensuite, le condensat subit un mélange avec les condensats à basse pression, et après son refroidissement dans des échangeurs, il est acheminé vers une section de traitement des condensats. Dans cette section, le condensat à basse pression subit un traitement dans un bassin de déshuilage avant d'être réchauffé de nouveau pour être envoyé au dégazeur, fournissant ainsi à nouveau de la vapeur aux chaudières.

- **Unité 1100 traitement des effluents**

Le but de traitement dans cette unité consiste à

- La neutralisation du pH.
- L'élimination des polluants dissous.
- La séparation des substances en suspension.

Dans le quelle toutes les rejets de raffinerie récupérés avec l'eau sont envoyés dans un bassin ; le fond du bassin est envoyé vers un réseau des traitements physique et chimique et enfin biologique (étape par étape).

- **Unité centrale thermoélectrique**

La CTE2, considérée comme le cœur opérationnel de la raffinerie, se divise en 11 sections clés :

- La section 62 pour la production d'eau déminéralisée.
- La section 1020 ou tours de refroidissement de l'eau.
- La section 1030 pour le stockage et le pompage de l'eau de barrage ou de l'eau potable.
- La section 1040 pour le stockage et le pompage de l'eau anti-incendie.
- La section 1050 pour la génération de la vapeur « chaudières ».
- La section 1060 pour la récupération et le traitement du condensât.
- La section 1070 ou système Fuel-gaz.
- La section 1080 pour la production de l'air instrument et l'air service.
- La section 1100 pour le traitement des effluents.
- La section 1110 de production de l'azote (N₂).
- La section de production de l'électricité.

I.3.5. Laboratoire d'analyse à la raffinerie de SKIKDA

Ce laboratoire a pour mission de réaliser le contrôle des unités ainsi que l'analyse des produits finis destinés à la commercialisation, que ce soit sur le marché national ou international. Il est composé en plusieurs sections présentées dans le tableau ci dessous [7].

Tableau I.2: Sections de laboratoire de RA1/K [7].

Sections	Objectifs		Analyses effectuées
Section de routine	Salle des routines	Contrôle des deux colonnes (10, 11)	Densité, point de flash, viscosité et Tension de Vapeur Reid (T.V.R)
	Salle des bitumes	Contrôle de l'unité des bitumes (U ₇₀)	Ramollissement, pénétration, ductilité et densité
Section des eaux	Contrôle de l'unité des utilités(eau de chaudières, eau déminéralisée, eaux résiduaires)		TA, TAC, TH, Ca ⁺² , Mg ⁺² , Cl ⁻ , NH ₃
Section des produits finis	Contrôle des bacs des produits finis prêts à être commercialisés.		Densité, distillation, (T.V.R), acidité, viscosité, point d'écoulement, point de congélation, point de flash, point de fumées (salle d'analyse spéciale : H ₂ S, Na ⁺ , Pb ⁺² , Cl ⁻ , HCl, H ₂ O).
Section moteur CFR	Contrôle des unités de MAGNAFORMING (U100) et REFORMING (U101/U103) sur les essences.		Indice d'octane suivie des indices de cétane. Analyse de l'eau par la méthode de water separator.
Section de chromatographie	Contrôle des unités d'extraction des aromatiques(U200), production des xylènes (U400), séparation des gaz (U30, U31, U104).		Contrôle des unités : MAGNAFORMING (U100), REFORMING (U101/U103), bacs intermédiaires et le contrôle des produits finis comme le benzène, le toluène, le para xylène et le xylène.

I.4. Station de déminéralisation

I.4.1. Généralité sur la station DM

L'objectif de ces unités est de déminéraliser l'eau d'alimentation selon les spécifications précisées dans les fiches de données, afin de répondre aux quantités requises [2]. Le système affiche les éléments suivants :

- Unité d'eau déminéralisée (63-X-1(N)) composée de :
 - Echangeur de cations acide (63-V-25 A/B/C/D/E)
 - Tour de dégazage (63-V-21 A/B/C)
 - Bac de l'eau dégazée (63-S-21 A/B/C)

 - Echangeur d'anion (63-V-26 A/B/C/D/E)
 - Echangeur à lit mixte (DMP) (63-V-27 A/B/C/D/E)
 - Bac de mesure d'acide (SAC) (63-S-22 A/B)
 - Bac de mesure d'acide (MB-DM) (63-S-23 A/B)
 - Bac de mesure/dilution d'alcali (WBA/SBA) (63-S-25 A/B)
 - Bac de mesure/dilution d'alcali (MB-DM) (63-S-26 A/B)
 - Echangeur de chaleur (WBA/SBA) (63-E-24 A/S)
 - Echangeur de chaleur (MB-DM/CPU) (63-E-25 A/S)
 - Puits de neutralisation (63-SU-21 A/B/C)
 - Pompe de transfert d'effluent (63-P-5A ~ F) (3W+3S)
 - Puisard de vidange (63-SU-22)
 - Pompe du puisard de vidange (63-P-27 A/B)
 - Bac de dilution d'acide (neutralisation) (63-S-28A)
 - Bac de dilution d'alcali (neutralisation) (63-S-28 B)
- Bacs de stockage de l'eau déminéralisée (63-S-1 A/B)
- Pompes de transfert de l'eau déminéralisée (2W+1S) (63-P-1 A/B/C (N)).

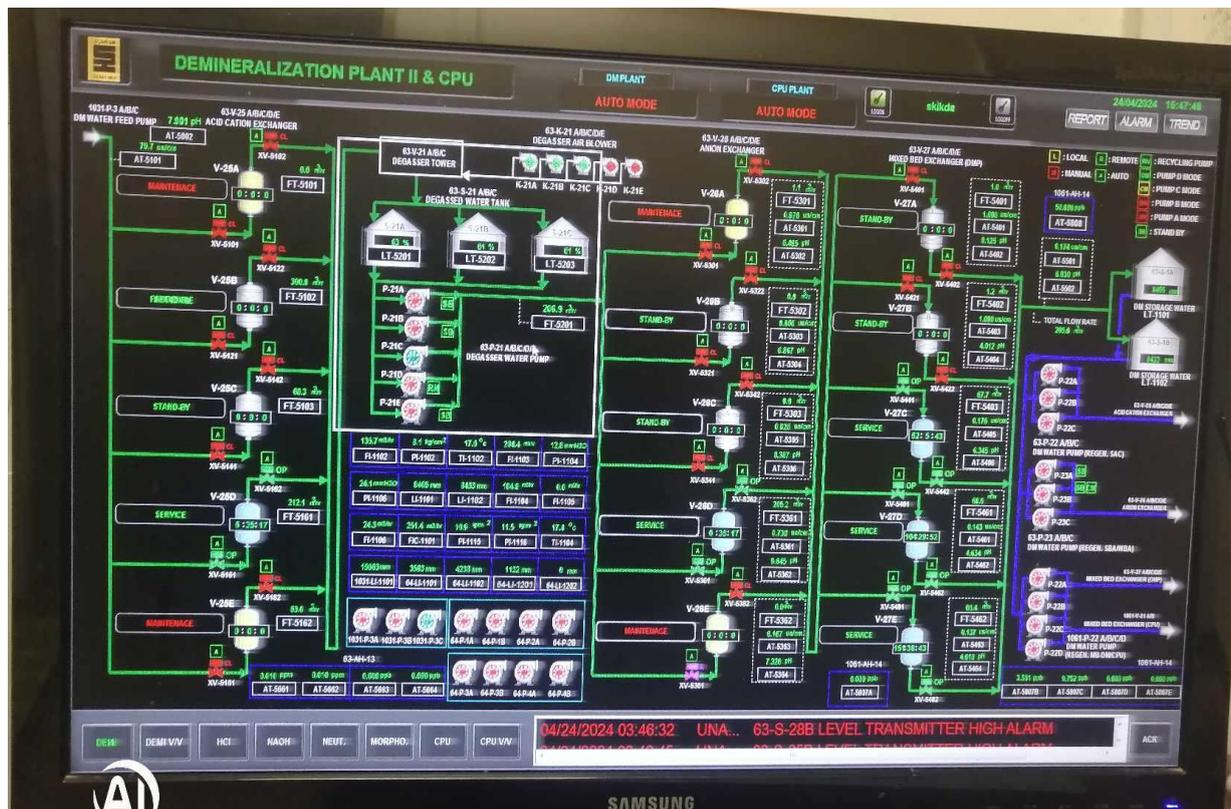


Figure I.4 : Programme de système de déminéralisation.

I.4.2. Capacité de la station DM

Cinq chaînes (3 en fonctionnement + 1 régénération + 1 en réserve) avec un rendement total net de 14600 m³/jour d'eau DM sont installées. Le dispositif hydraulique peut faire fonctionner les cinq chaînes en même temps si besoin. Les chaînes d'eau DM, excepté les lits mixtes (MBs), sont régénérées une fois par jour. Les MB doivent être régénérés une fois tous les sept jours. Le temps de régénération par chaîne doit être au plus de 4 heures, y compris les MB. Chaque chaîne est capable de fonctionner en continu pendant 20 heures avec un rendement net de 202.7m³/hr, après quoi elle devra être régénérée. Cependant, trois chaînes seront en fonctionnement et une en mode de régénération. [8].



Figure I.5: Station de déminéralisation.

I.4.3. Qualité de l'eau d'alimentation de la station de DM

Normalement de l'eau brute est alimentée à la station de DM, reçue d'une station de dessalement d'eau de mer à osmose inverse après re-minéralisation. Les qualités prévues sont données dans le Tableau [8].

Tableau I.3: Eau dessalée (eau brute) [8].

No.	Paramètre	Unité	Valeur
1.	pH	-	8.0
2.	Turbidité	NTU	1 Max
3.	Solides en suspension	ppm	Nil
4.	Solides totalement dissouts (TDS)	ppm	453
5.	Dureté du Ca pour CaCO ₃	ppm	70
6.	Sodium pour CaCO ₃	ppm	274
7.	Potassium pour CaCO ₃	ppm	7.5
8.	Magnésium pour CaCO ₃	ppm	13
9.	Alcalinité-M pour CaCO ₃	ppm	67
10.	Dureté totale pour CaCO ₃	ppm	82
11.	Chlorures pour Cl	ppm	202
12.	Sulfates pour SO	ppm	7
13.	Silice réactive pour SiO	ppm	<0.5
14.	Fer total pour Fe	ppm	0.2 Max
15.	Matière organique pour KmnO ₄	ppm	5.0 Max
16.	Cu ⁺⁺	ppm	1.0 Max
17.	Conductivité	μ/cm	728

Occasionnellement, de l'eau de barrage est reçue à la place de l'eau dessalée.

La station de DM est adaptée pour accepter une alimentation en eau de barrage, d'une qualité telle que listé dans le tableau ci-dessous.

Tableau I.4: Qualité de l'eau de barrage (eau brute existante) [8].

No.	Paramètre testé	Résultat du test
1	pH	7.93
2	Turbidité NTU	0.1
3	Dureté totale pour CaCO ₃ , Mg/l	196
4	Dureté du Calcium pour CaCO ₃ , Mg/l	124
5	Sodium pour Na ⁺ , Mg/l	34
6	Potassium pour K ⁺ , Mg/l	34
7	Strontium pour Sr ⁺⁺ , Mg/l	
8	Baryum pour Ba ⁺⁺ , Mg/l	0.078
9	Fer total pour Fe, Mg/l	0.10
10	Manganèse pour Mn ⁺⁺ , Mg/l	<0.001
11	Cuivre as Cu, Mg/l	<0.001
12	Consommation de KMnO ₄ à 100°C, Mg/l	2.96
	(Oxygène absorbé à 100 °C)	
13	Alcalinité-M pour CaCO ₃ , Mg/l	134
14	Alcalinité-P pour CaCO ₃ , Mg/l	Nil
15	Carbonates pour CO ₃ ⁻⁻ , Mg/l	Nil
16	Chlorures pour Cl ⁻ , Mg/l	61
17	Sulfates pour SO ₄ ⁻⁻ , Mg/l	10
18	Nitrates pour NO ₃ ⁻ , Mg/l	4.4
19	Silice réactive pour SiO ₂ , Mg/l	5.9
20	Silice colloïdale pour SiO ₂ , Mg/l	<0.05
21	Dioxyde de carbone pour CO ₂ , Mg/l	25.3
22	Chlore libre, Mg/l	Nil
23	Total de solides dissous, Mg/l	362

I.4.5. Qualité de l'eau déminéralisée

La qualité requise de l'eau DM est donnée ci-dessous dans le Tableau [8].

Tableau I.5: Qualité de l'eau déminéralisée (DM) [8].

No.	Paramètre	Unité	Valeur
1.	pH		6.5-7.0
2.	Conductivité à 20 °C	μ Mhom/cm	< 0.2
3.	Dureté totale pour CaCO ₃	mg/l	Nil
4.	SiO ₂ (réactif)	mg/l	< 0.02
5.	Fer total	mg/l	<0.02
6.	Cuivre total pour Cu	mg/l	<0.003
7.	Turbidité	ppm	Nil
8.	Valeur de KMnO ₄ à 100 °C	ppm	< 1

I.5. Conclusion

Dans ce chapitre, une étude descriptive sur la raffinerie RA1/K et sur la station de déminéralisation a été réalisée.

La station de déminéralisation est l'une des principales unités de traitement des eaux, elle a pour mission principale l'élimination des ions dissous dans l'eau.

CHAPITRE II

Etude de l'efficacité de traitement des eaux par déminéralisation

II.1. Introduction

Dans la littérature, plusieurs procédés sont utilisés pour le traitement des eaux. Parmi ces procédés on peut citer : les procédés membranaires tels que : l'osmose inverse, l'électrodialyse, la nano filtration et l'ultrafiltration [9] ; les procédés physiques tels que: le dégrillage [10], la filtration [11], la décantation [12], la centrifugation [10] et la flottation [10] ; et enfin les procédés chimiques tels que la coagulation-floculation, la complexation, l'oxydation [10], la neutralisation [13], l'échange d'ions etc.

L'échange d'ions est largement utilisé dans diverses industries comme la chimie, la pétrochimie et le raffinage pétrolier. Les échangeurs d'ions peuvent sélectivement adsorber des ions spécifiques même en infimes quantités en fonction de leurs sites fonctionnels. Ce chapitre introduit la technique de déminéralisation par échange d'ions ainsi que son principe de fonctionnement [14].

II.2. Résines échangeuses d'ions

II.2.1. Définition des résines échangeuses d'ions

Il s'agit de petites billes en plastique d'un diamètre d'environ 0,6 mm qui sont poreuses et renferment de l'eau de manière invisible et immuable [8].

Les résines échangeuses d'ions les plus largement utilisées se consistent d'un réseau organique formé par la polymérisation du styrène. Le styrène est un liquide à température ambiante, mais il est transformé en un solide transparent ressemblant à du verre par polymérisation. Lorsqu'environ 2,000 molécules de styrène sont polymérisées, le solide qui en résulte est particulièrement robuste et pas du tout soluble. Les résines échangeuses d'ions de base sont identifiées comme résines échangeuses d'anions car elles subissent une réaction négative d'échange d'ions, $\text{OH}^- \rightarrow \text{Cl}^-$ étant la réaction d'échange. Tel que montré précédemment, les résines échangeuses d'ions réagissent de la même manière que les groupes ordinaires acide et base. La différence la plus prononcée réside dans le fait que des produits insolubles du processus de réaction d'échange peuvent être retirés facilement et en continu car les résines elles-mêmes restent toujours solides et insolubles. Cette caractéristique distinctive des résines échangeuses d'ions n'est pas dupliquée par les processus acide/base conventionnels [8].

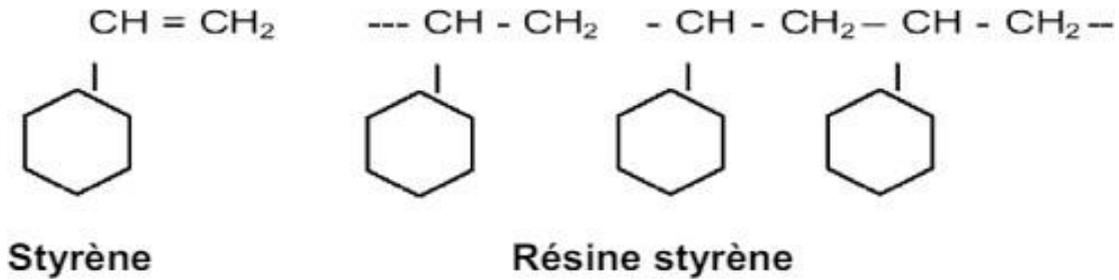


Figure II.1: La résine styrène [8].

La polymérisation des molécules du même composant produit un haut polymère qui est un solide robuste dont la solubilité décroît presque en proportion du degré de polymérisation ou du poids moléculaire, jusqu'à ce qu'il soit réduit à zéro. Les amines d'acide sulfonique sont hydrophiles et se dissolvent dans l'eau très facilement. Cependant, lorsqu'elles sont polymérisées, elles forment des hauts polymères insolubles dans l'eau.

Les résines échangeuses d'ions sont de ce type de résines synthétiques. Lorsqu'elles ont des groupes acides elles sont appelées résines échangeuses d'ions positifs, tandis que le terme résines échangeuses d'ions négatifs est utilisé pour les groupes base. La sulfonation du styrène par réticulation des chaînes longues de styrène en une structure en trois dimensions produit une résine échangeuse d'ions positifs fournie avec le groupe acide sulfonique, tel qu'illustré ci- dessous.

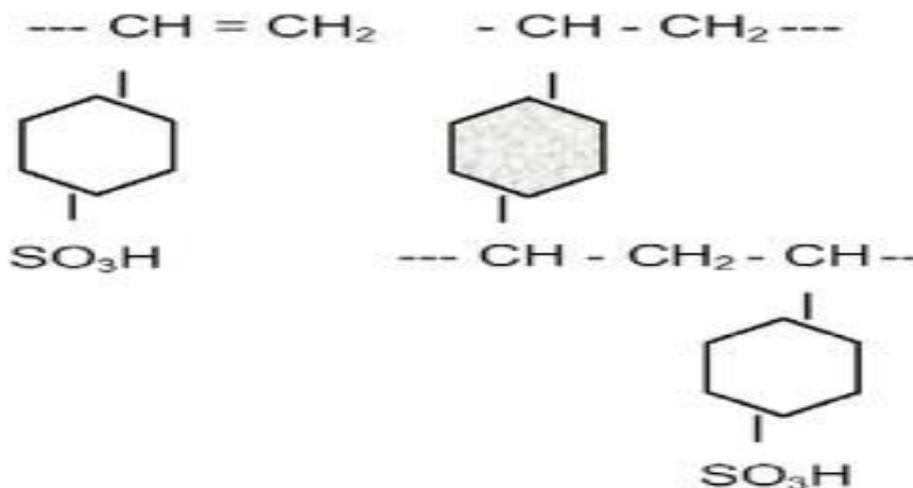


Figure II.2 Résine échangeuse d'ions positifs fournie avec le groupe acide sulfonique [8].

II.2.2. Principaux procédés d'échange d'ions en traitement des eaux

L'échange d'ions trouve diverses applications dans le traitement des eaux, notamment pour:

- L'adoucissement (réduire la dureté) [15].
- La décarbonatation (éliminer le bicarbonate) [15].
- La décationisation (éliminer les cations) [15].
- La déminéralisation (éliminer tous les ions) et réaliser des finitions avec des lits mélangés [15].

II.3. La déminéralisation

L'échangeur d'ions déminéraliseur élimine presque tous les sels ainsi que les acides et les bases de l'eau industrielle, produisant ainsi de l'eau déminéralisée comparable à l'eau distillée et adaptée à une variété d'applications. Ces applications incluent l'eau pour les chaudières, les processus de polymérisation, les fabricants de composants électroniques, et les processus d'analyse chimique, répondant ainsi à des critères de pureté précise. Ce processus est particulièrement efficace pour retirer presque totalement la silice de l'eau industrielle, la rendant ainsi idéale pour les chaudières [8].

L'échangeur d'ions utilise des résines de cation fortement acides et des résines d'anion fortement basiques pour produire de l'eau déminéralisée. Il est important de noter que l'échange d'ions est efficace uniquement pour éliminer les électrolytes (sels dissous). Il ne peut pas retirer efficacement la turbidité, les huiles, les graisses, les substances colloïdales comme la silice colloïdale, les composants métalliques colloïdaux, les polymères de haut poids moléculaire et les oxydes métalliques [8].

Avant que l'eau brute ne soit traitée par l'échangeur d'ions, elle doit subir un prétraitement pour éliminer ces contaminants. Ce prétraitement peut inclure la coagulation et la filtration. De plus, l'oxygène dissous dans l'eau industrielle doit aussi être retiré par des méthodes appropriées telles que la désaération ou la réduction, car il n'est pas éliminé par l'échangeur d'ions [8].

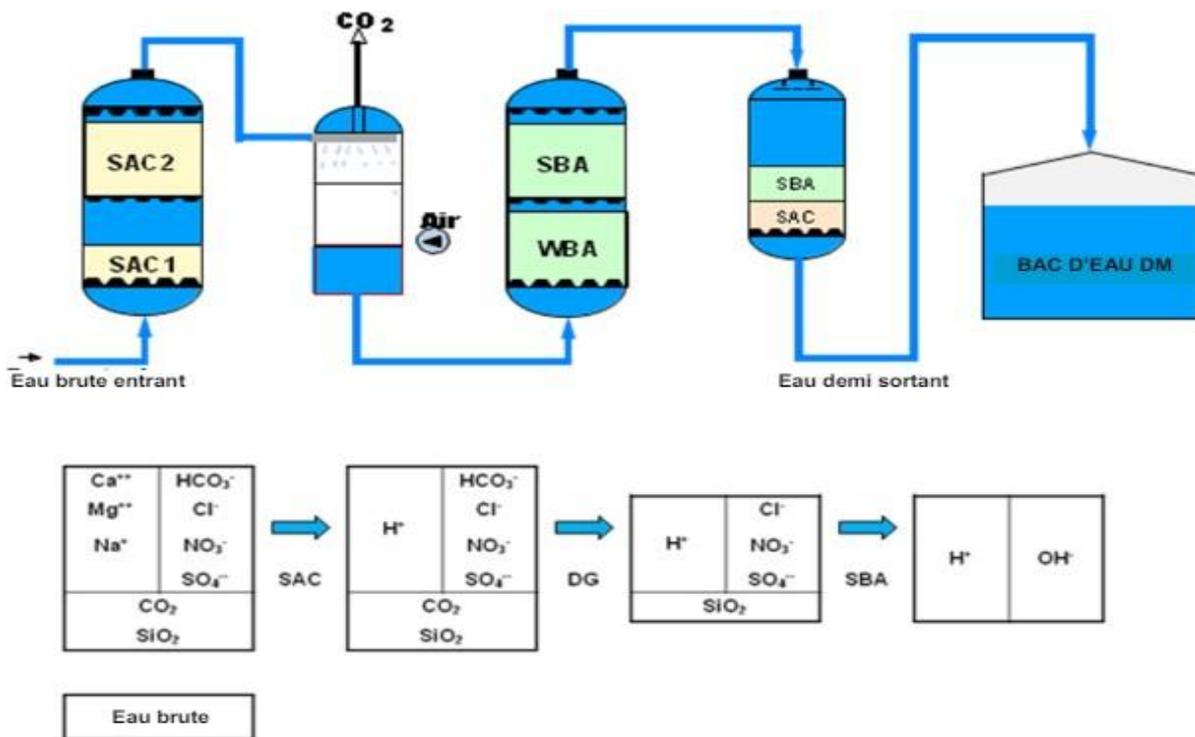


Figure II.3 : Processus de déminéralisation industriel dans la RA1/K [10].

II.3.1. Principe de fonctionnement de la déminéralisation dans la station DM

Pour obtenir de l'eau déminéralisée en éliminant tous les électrolytes, l'eau industrielle traverse d'abord une couche de résine d'échange de cations du groupe H⁺ (contenue dans ce qu'on appelle la cuve à cations), où tous les ions positifs (cations) sont remplacés par des ions H⁺. L'eau, devenue acide après ce passage, est ensuite dirigée à travers une couche de résine d'échange d'anions du groupe OH⁻ (située dans la cuve à anions), où tous les ions négatifs (anions) sont échangés contre des ions OH⁻ [8].

Lorsque l'eau industrielle contient une grande quantité de bicarbonates, l'eau, désormais acide et riche en dioxyde de carbone suite à son passage dans la cuve à cations, est introduite dans un dégazeur (également appelé cuve D). Dans ce dégazeur, le dioxyde de carbone est principalement éliminé par des procédés physiques avant que l'eau n'atteigne la cuve à anions [8].

Pour la régénération de la résine échangeuse de cations, on utilise de l'acide chlorhydrique à 32%. Par contre, la résine échangeuse d'anions est régénérée avec une solution de soude caustique à environ 40% [8]. Les équations chimiques illustrant ces réactions de déminéralisation sont présentées ci-dessous [8].

Cuve à cations (Décationisation) [8].

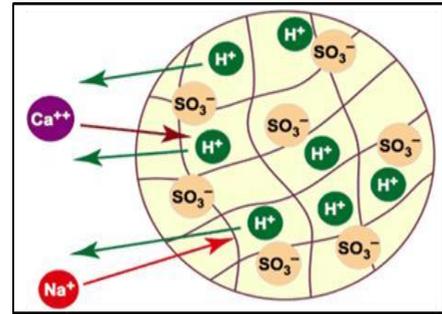
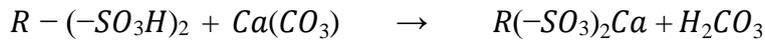


Figure II.4: Décationisation [16]

Cuve à anions (Déionisation) [8].

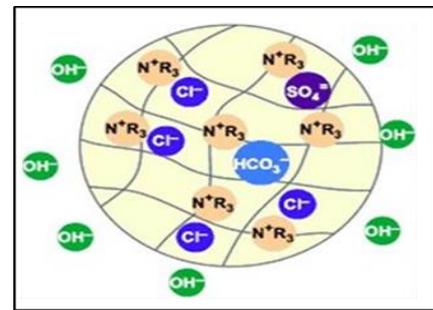
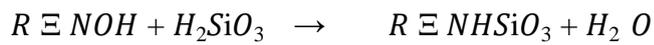
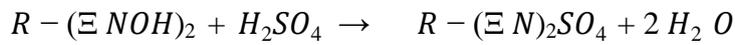


Figure II.5 : Déionisation [16].

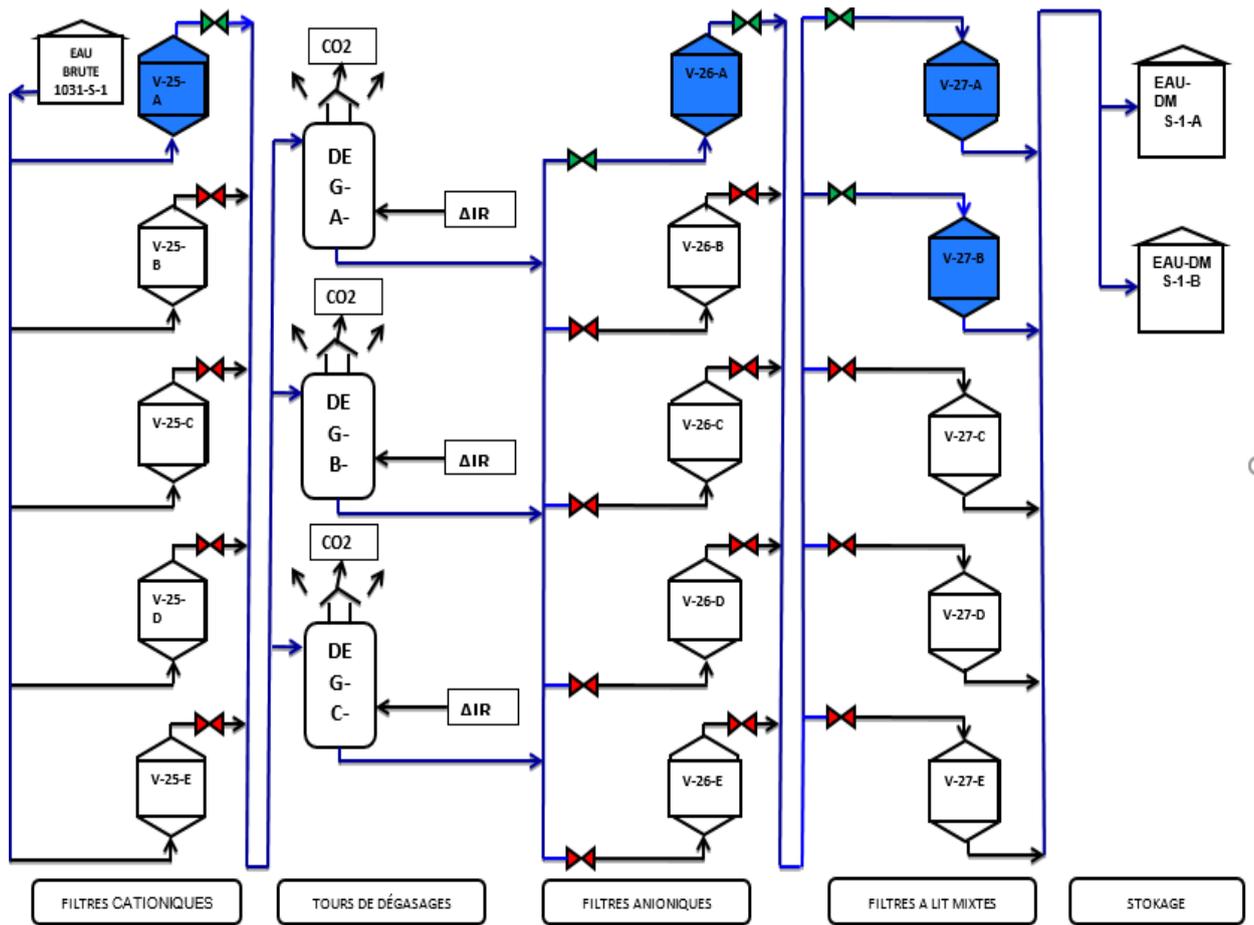


Figure II.6 : Schéma d'unité de déminéralisation d'eau industriel [8].

II.3.2. Service d'unité de déminéralisation de la station DM

1) Cuve à cations → cuve D → cuve à anions, le passage de l'eau industrielle provoque un échange des électrolytes (sel) dans l'eau avec les ions H^+ et OH^- pour produire de l'eau déminéralisé [8].

2) Le système est conçu de telle sorte que les résines échangeuses de cations dans la cuve à cations soient épuisées avant les résines échangeuses d'anions dans la cuve à anions. Les résines échangeuses de cations épuisées provoquent l'augmentation de la conductivité de l'eau traitée, permettant à l'opérateur de déterminer quand arrêter le service.

Dans ce cas, l'ion Na^+ est le premier à commencer à s'écouler de la résine échangeuse de cations épuisée, et forme un NaOH hautement conducteur alors qu'il passe à travers les résines échangeuses d'anions (groupe OH^-) en résulte une augmentation indéniable de la conductivité de l'eau traitée.) dans la cuve à anions [8].

3) Une erreur de régénération ou un ennui de fluctuation dans les caractéristiques de l'eau industrielle ferait que la cuve à anions atteindrait son point de fin de service .

- 4) cuve à cations. Cela pourrait provoquer une augmentation du niveau de silice dans l'eau traitée dont la conductivité elle-même pourrait être maintenue dans la valeur de référence [8].
- 5) Dans le cas du système 2B3T (démminéraliseur 2 lits avec dégazeur), le passage direct de l'eau depuis la cuve à cations vers la cuve à anions en court-circuitant la cuve du dégazeur pourrait faire que les résines échangeuses d'ions de la cuve à anions soient épuisées en premier avec une hausse du taux de silice de l'eau traitée. (Cela s'appelle la "rupture d'anion" et devrait être évité.) [8].
- 6) La régénération doit être réalisée lorsque la conductivité de l'eau traitée s'élève au-dessus du niveau de valve sur le mesureur de conductivité ou lorsque le rendement de service atteint le niveau prescrit [8].
- 7) Tandis que le service continue, le débit, la conductivité, le pH, etc. doivent être enregistrés ou analysés périodiquement pour assurer le fonctionnement sûr du système [8].

II.3.3. Polisseur à lit mixte (MB) utilisé dans la station DM

- 1) Le processus implique de placer la résine échangeuse de cations et la résine échangeuse d'anions dans la même cuve à résine, et de les mélanger ensemble, suivi par le passage de l'eau déminéralisée pour préparer un degré élevé d'eau (ou à faible conductivité). Il a l'avantage d'obtenir facilement un degré élevé d'eau déminéralisée avec très peu d'électrolyte restante par voir d'une opération relativement facile [8].
- 2) Les résines échangeuses de cations et échangeuses d'anions sont bien mélangées dans une cuve, suivi d'un passage d'eau à l'intérieur pour causer des milliers de résines échangeuses de cations et d'anions à se produire alternativement. Le processus entraîne les mêmes résultats car l'eau a été maintes fois passée dans un déminéraliseur à lits multiples, lui permettant d'éliminer efficacement l'électrolyte dans l'eau [8].
- 3) Pour régénérer le MBP, les résines sont d'abord séparées par contre-lavage en utilisant la différence de densité. A la suite, les particules de résine échangeuse d'anions se déplacent vers la portion haute et les particules de résine échangeuse de cations se déplacent vers la portion basse. Une solution de soude caustique à environ 40% est passée à travers la couche de résine échangeuse d'anions et une solution d'acide sulfurique environ 32% est passée à travers la couche de résine échangeuse de cations, et chaque couche est rincée avant d'être mélangées ensemble à nouveau. Un déminéraliseur à lits multiples est très souvent employé tant que polisseur déminéraliseur à lits multiples [8]

II.3.4. Système de régénération dans la station DM

Vu que l'unité de polissage du condensat (CPU) est située à côté de la station de DM, une installation de régénération commune pour la régénération des chaînes DM et CPU est fournie, à l'intérieur de la station de DM. Des installations communes pour la neutralisation et le dosage en Morpholine ont été considérées pour les deux unités, situées à l'intérieur de la station de DM [8].

De la lessive caustique à 40% et du HCl à 32% doivent être fournis à la station de DM depuis les systèmes caustiques et HCl (Unité-64). La dilution caustique et HCl, le stockage et les systèmes de pompage sont fournis ensemble pour les deux unités à l'intérieur de la station de DM. La concentration de dilution caustique et HCl doit être confirmée par l'entrepreneur EPC, selon les exigences du vendeur de DM/CPU [8].

La régénération doit être contrôlée via le PLC de l'unité dans le CCR. Pour un fonctionnement semi-automatique et manuel depuis le site, une interface de contrôle avec les alarmes, les indications, etc. nécessaires doit être présente sur le site [8].

L'installation de contrôle de régénération doit être capable de régénérer simultanément selon la séquence de régénération recommandée (a) deux chaînes de la station d'eau DM (sauf les MBs), (b) une chaîne du SBA, WBA, WAC & SAC et une du MB depuis une autre chaîne de la station de DM ou (c) une chaîne de SBA, WBA, WAC et SAC dans la station de DM et une MB de CPU. Un nombre adéquat d'équipements de rechange sont fournis avec le système [8].

II.3.5. Neutralisation et transfert d'effluent dans la station DM

Une installation de mélange adéquate est fournie pour assurer un pH uniforme dans le puits de neutralisation (63-S-29 A/B/C). Le pH de l'effluent de neutralisation doit être de 7.0 à 7.5 [8].

Des pompes de transfert d'effluent (63-P-5 A ~ F) et (3W+3S) sont fournies pour transférer l'effluent de régénération neutralisé vers le ETP pour chaque système de régénération. La capacité du puits de neutralisation (63-S-29 A/B/C), l'arrangement d'agitation et les pompes de transfert d'effluent (63-P-5 A ~ F) et (3W+3S) doivent être déterminés par le vendeur de DM/CPU.

La pression à la limite de batterie de la station de DM est de 4kg/cm^2 [8].

II.3.6. Dosage de Morpholine dans la station DM

La morpholine est un liquide incolore, inflammable et huileux qui a une odeur de

poisson typique des amines. De formule chimique $O(CH_2CH_2)_2NH$. Elle est également volatile et miscible dans l'eau (avec un pH de 10%). De plus, elle est toxique et soluble dans divers solvants organiques tels que l'acétone et l'éthanol. Elle est utilisée parce que sa volatilité est à peu près la même que celle de l'eau, donc une fois ajoutée à l'eau, la concentration est répartie assez uniformément entre les phases eau et vapeur. Les propriétés de contrôle du pH sont ensuite dispersées dans l'installation à vapeur pour fournir une protection contre la corrosion [21].

La Morpholine est dosée séparément à l'échappement des lits mixtes (MBs) de la station d'eau DM et du CPU. Le système de dosage peut avoir une cuve commune de préparation de solution Morpholine. Cependant, les pompes de dosage [8].

II.4.1. Méthodes d'analyses effectuée dans le laboratoire de la RA1/K

Les différentes méthodes d'analyse effectuées dans laboratoire de raffinerie RA1/K pour la station DM sont regroupées dans le Tab IV.1:

Tableau II.1 : Les différentes méthodes d'analyse [8].

Paramètre d'analyse	Méthode d'analyse
PH	pH-mètres
Conductivité	Conductimètre
Température	Thermomètre
TH	Complexométrie
TA	Volumétrie
TAC	Volumétrie
Calcium, magnésium ,cuivre	Complexométrie
Silice, fer,	Spectrophotométrie d'adsorption Moléculaire (S.A.M)
Chlorure	Volumétrie

II.5. Paramètres physicochimique analysés

Les paramètres physico-chimique analysés sont le pH, conductivité, TH, TA, TAC, silice, fer, calcium, magnésium et le chlorure.

II.5.1. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH est une mesure de l'activité chimique des protons (ions hydrogène) en solution. En milieu aqueux, ces ions sont présents sous forme d'ions hydronium. Le pH indique l'acidité ou la basicité d'une solution, à 25 °C. Le pH de l'eau à analyser est déterminé à l'aide d'un pH- mètre équipé d'une électrode de verre étalonnée [17].

II.5.2. La conductivité

La conductivité est mesurée selon la méthode ISO 7888 à l'aide d'un conductimètre modèle E587. Cet appareil est équipé d'une cellule ayant une constante $K=1$ et d'une sonde de compensation de température. Différentes échelles de mesure permettent de déterminer avec précision la valeur de la conductivité [17].

II.5.3. La Température

Il s'agit d'une caractéristique physique essentielle, influençant la solubilité des sels et des gaz, ainsi que la détermination du pH, ce qui permet de comprendre l'origine de l'eau et les éventuels mélanges. La mesure de cette caractéristique est indispensable pour déterminer la densité et les courants [17].

II.5.4. Le titre hydrotimétrique (TH)

La dureté ou titre hydrotimétrique (TH) d'une eau correspond à la somme des concentrations en ions calcium et magnésium [17].

Tableau II.2 : Caractère de l'eau selon TH [17].

TH(°F)	0 à 7	7 à15	15 à 30	30 à 40	>40
Eau	Très douce	Douce	Moyennement dure	dure	Très dure

II.5.4.1. Types de dureté

- Dureté calcique : correspond uniquement aux ions calcium.
- Dureté magnésienne : correspond uniquement aux ions magnésium.
- TH total : est la somme de la dureté calcique et de la dureté magnésienne [17].

II.5.5. Le titre calcique ($T_{Ca^{2+}}$) et le titre magnésique ($T_{Mg^{2+}}$)

Le titre calcique ($T_{Ca^{2+}}$) mesure la teneur totale en sels de calcium dans l'eau, indépendamment de l'anion associé. Il est également connu sous le nom de titre calcique de l'eau. De manière similaire, le titre magnésique ($T_{Mg^{2+}}$) se réfère uniquement à la présence de sels de magnésium dans l'eau, également appelé titre magnésien [17].

II.5.6. Le titre Alcalimétrique (TA)

Le TA mesure la teneur en alcalis libres (OH^-) et en carbonates :

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + 1/2 [\text{CO}_3^{2-}] \text{ [17].}$$

II.5.7. Le titre Alcalimétrique Complet (TAC)

Le TAC mesure la somme des alcalis libres, des carbonates et des bicarbonates dans l'eau :

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] \text{ [17].}$$

II.5.8. Le Fer

Les eaux souterraines contiennent une quantité importante de fer, car elles sont considérées comme un élément de la croûte terrestre à raison de 4,5 à 5 %. Ce sont aussi les conditions physiques et hydrologiques (infiltration des sols, rejets industriels, corrosion des canalisations métalliques) qui déterminent les proportions de sa présence dans l'eau [19].

II.5.9. Le cuivre

Le cuivre est présent naturellement dans la croûte terrestre et dans les océans, les lacs, les rivières sous différentes formes et concentrations. C'est un des rares métaux existant à l'état natif, cependant il est majoritairement présent sous la forme de minerais. La majorité du cuivre rejeté dans l'eau est sous forme particulaire et tend à se déposer, à précipiter ou à s'adsorber à la matière organique, au fer hydraté, aux oxydes de manganèse ou aux argiles. L'ion Cu^+ est instable dans l'eau sauf en présence d'un ligand stabilisateur comme les sulfures, les cyanures ou les fluorures. L'ion Cu^{2+} forme de nombreux complexes stables avec des ligands minéraux, tels les chlorures ou l'ammonium, ou avec des ligands organiques [19].

II.5.10. La teneur en Silice

La silice se trouve dans la plupart des minéraux et de nombreuses algues telles que les diatomées on le trouve donc dans les eaux naturelles, notamment les eaux de surface, sous forme de sels d'acide silicique (H_2SiO_3), les sels d'acide silicique peuvent présenter des inconvénients importants dans les applications industrielles de l'eau [18].

La solubilité des sels d'acide silicique diminue souvent avec l'augmentation de la température, entraînant des précipitations dans les circuits d'eau [18]. Les moyens de se débarrasser de la silice présente en faible quantité sous forme colloïdale sont :

- Traitement à la chaux qui permet à la silice d'être absorbée par les dépôts de magnésium.
- Adsorption sur hydroxyde de fer dans les procédés de coagulation des sels fer.
- Notamment le traitement des résines échangeuses d'ions lors de l'utilisation d'eau.

II.5.11. La teneur en chlorures

Les chlorures sont mesurés selon la méthode AFNOR NFT 90-014. Ils sont dosés en milieu neutre à l'aide d'une solution de nitrate d'argent, en présence de chromate de potassium comme indicateur, et sont exprimés en mg/L [17].

La méthode d'échantillonnage et les protocoles opératoire des paramètres physico-chimiques étudiés sont indiquées dans l'annexe 01 .

II.6. Conclusion

En conclusion, Grâce à son efficacité et sa fiabilité, la technique de déminéralisation offrent des solutions pratiques pour répondre aux besoins de purification des eaux.

Les différents paramètres étudiés ont été définis avec précision.

Chapitre III

Résultats et discussion

III.1. Introduction

Une analyse approfondie des données recueillies dans le cadre de cette étude est présentée dans cette partie. Cette section s'appuie sur les méthodes de recherche précédemment exposées.

Les résultats d'analyses sont regroupés dans les tableaux IV.4 IV.5.2 IV.6 (voir annexe 2) et représentés dans les figures ci-dessous

III.2. Variation de pH

Le pH joue un rôle crucial dans la détermination de l'agressivité ou du pouvoir incrustant de l'eau.

La figure III.1 représente la variation du pH de l'eau avant et après déminéralisation.

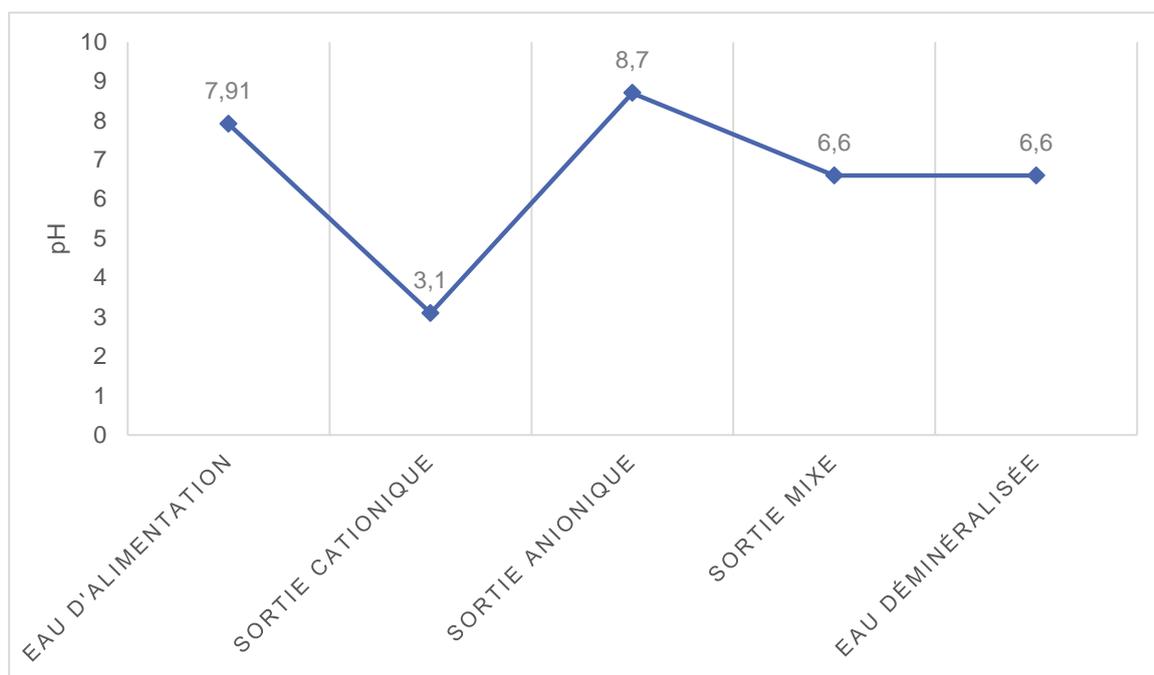


Figure III.1: Variation du pH avant et après déminéralisation.

Il est à noter que l'eau brute présente un pH basique, ceci peut être une des causes de corrosion. Après le passage de l'eau brute à travers la résine cationique, son pH diminue significativement jusqu'à 3.1, ce qui correspond à la formation d'acides forts suite à sa décationisation; lors de la deuxième étape, après passage à travers la résine anionique, on observe une augmentation du pH jusqu'à 8.7 ce qui confirme sa désanionisation; A la fin du processus de déminéralisation l'eau est neutralisée, son pH devient égale à 6,6.

D'après ces résultats, on conclut que le pH obtenu après traitement répond aux normes d'une eau déminéralisée qui doit être comprise entre 6.5 – 7.

Une valeur de pH inférieur à 8,3 indique que la valeur de TA est égale à zéro [17].

III.3. Variation de la conductivité

La conductivité est directement liée à la présence de sels dissous dans l'eau.

La figure III.2 représente la variation de la conductivité de l'eau avant et après déminéralisation.

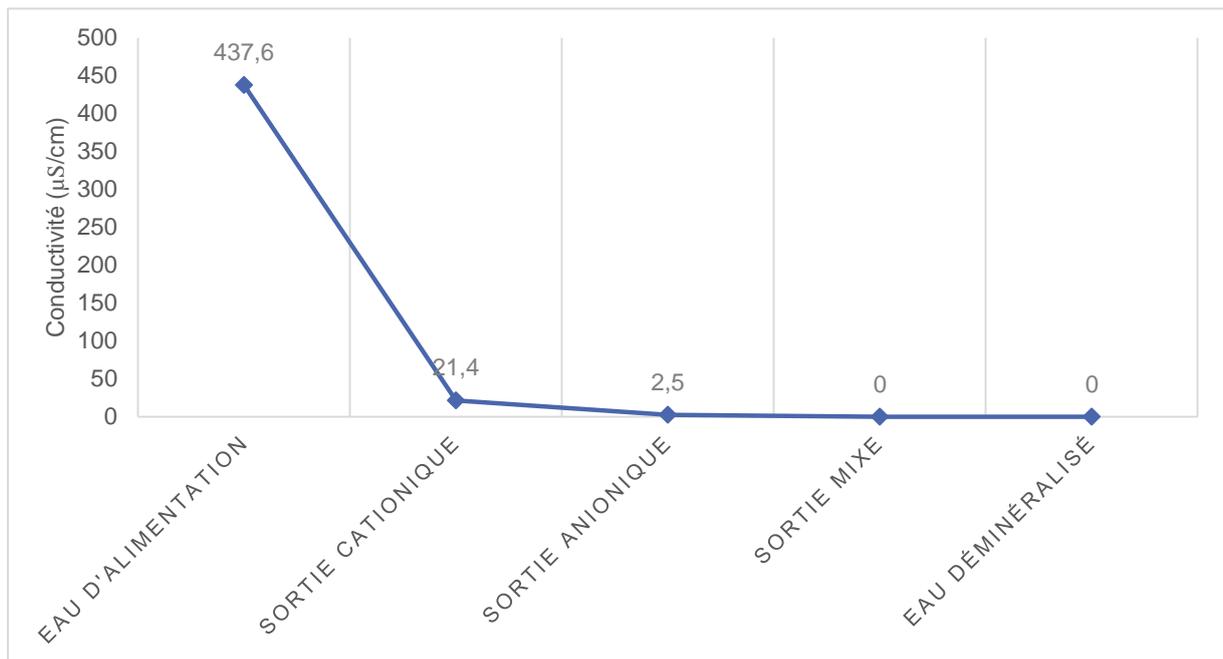


Figure III.2: Variation de la conductivité avant et après déminéralisation.

Selon les résultats obtenus, on constate que la conductivité de l'eau brute est de 437,6 µS/cm, cette valeur atteint 21.4 µS/cm après son passage par la résine cationique ceci peut être dû à la formation des acides forts. L'échangeur anionique capture tous les anions résiduels, réduisant ainsi la conductivité à 2.5µS/cm. Ensuite, le filtre mixte élimine ce qui peut échapper au processus d'échange anionique, ramenant la conductivité à 0,05 µS/cm. Cette valeur est inférieure à 0.2 µS/cm donc elle est dans les normes.

III.4. Variation de la température

La figure III.3 représente la variation de température de l'eau avant et après déminéralisation.

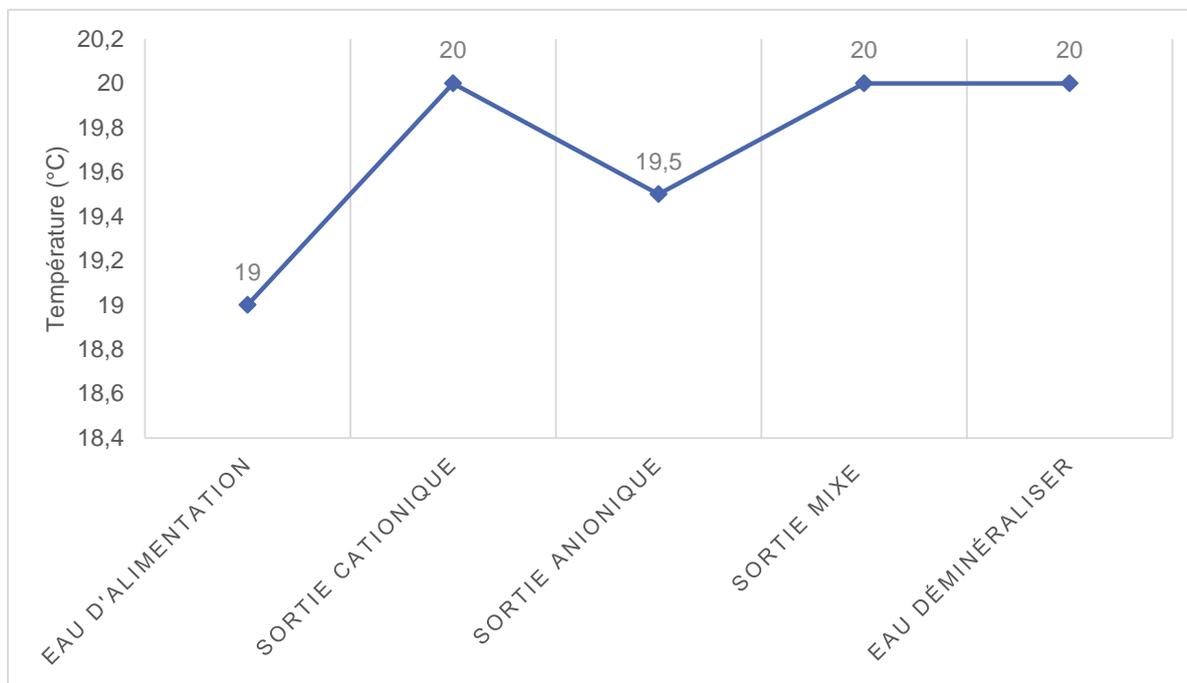


Figure III.3: Variation de la température avant et après déminéralisation.

Selon les résultats observés, les températures enregistrées lors des différentes étapes de traitement varient légèrement entre 19 °C et 20 °C en fonction de la saison, cette variation de température n'a pas d'incidence sur la qualité de l'eau produite.

III.5. Variation de TH

La dureté totale d'une eau représente la somme des concentrations en ions calcium et magnésium. La figure III.4 représente la variation du TH avant et après déminéralisation.

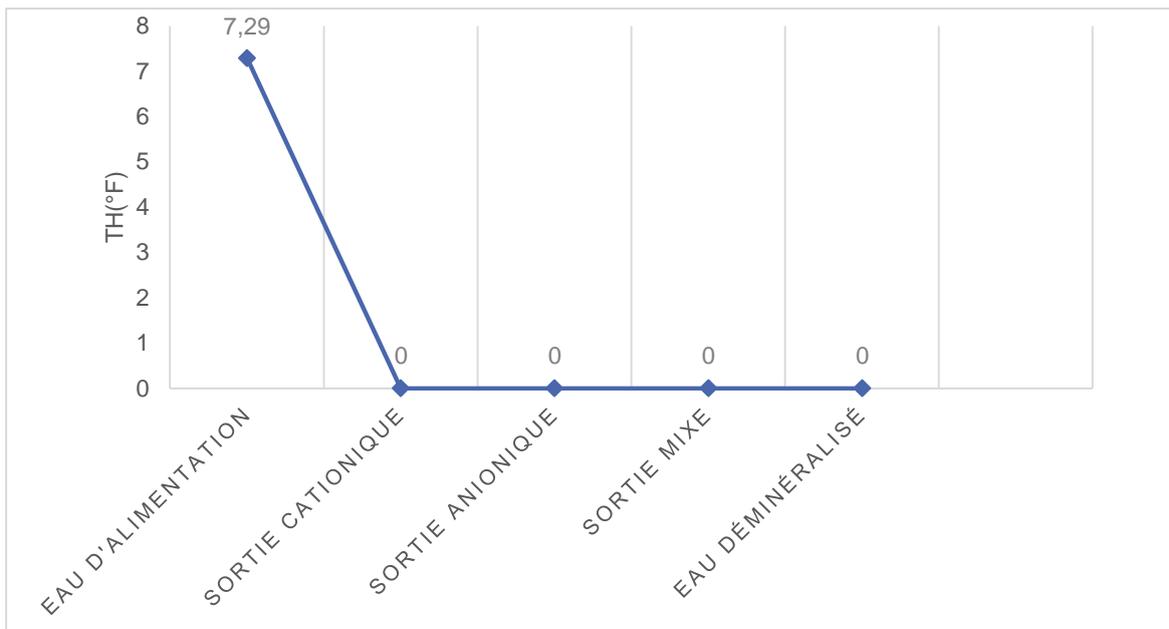


Figure III.4: Variation de TH avant et après déminéralisation.

Les résultats indiquent que l'eau brute est de caractère doux avec une dureté égale à 7.29°F, en outre, après le processus de déminéralisation, la dureté de l'eau est réduite à zéro ce qui lui confère un caractère très doux, cette dernière répond aux norme d'une eau déminéralisé.

III.6. Variation de Ca^{2+}

La figure III.5 représente la variation du Ca^{2+} avant et après déminéralisation.

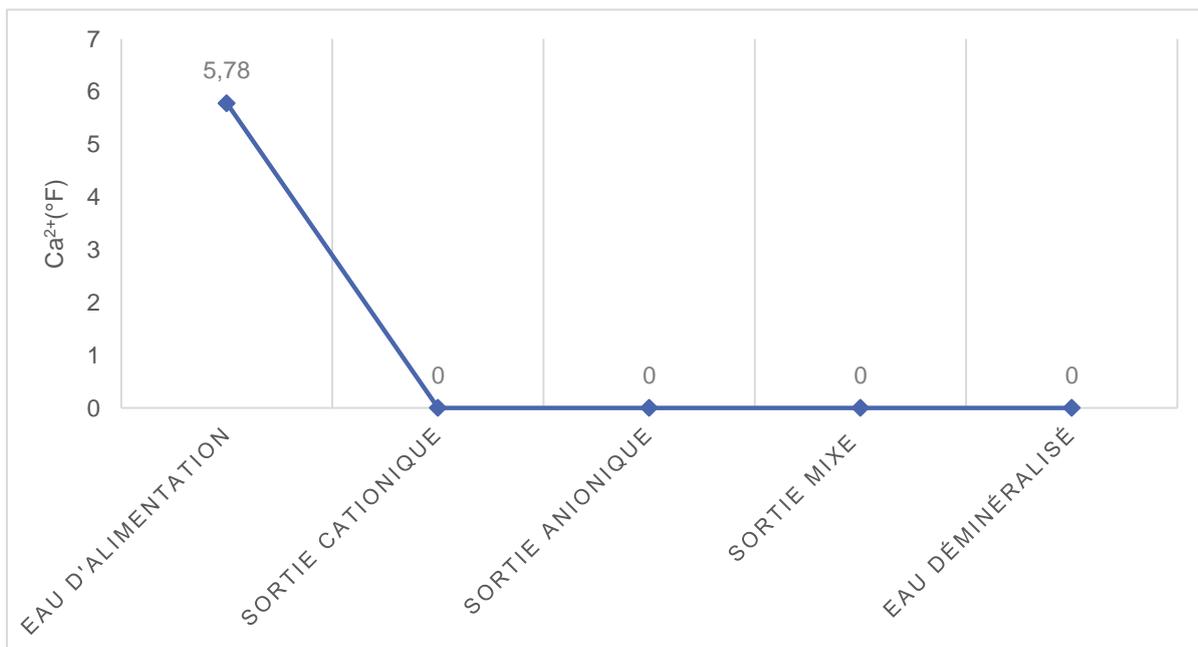


Figure III.5: Variation du calcium avant et après déminéralisation.

D'après les résultats obtenus, l'eau brute affiche une concentration de 5.78°F en calcium. Après traitement, les cations Ca^{2+} sont complètement retenus par la résine cationique, ce qui se traduit par une élimination totale du calcium. Cette valeur confirme les résultats du TH interprétés précédemment.

III.7. Variation de Mg^{2+}

La figure III.6 représente la variation du Mg^{2+} avant et après déminéralisation.

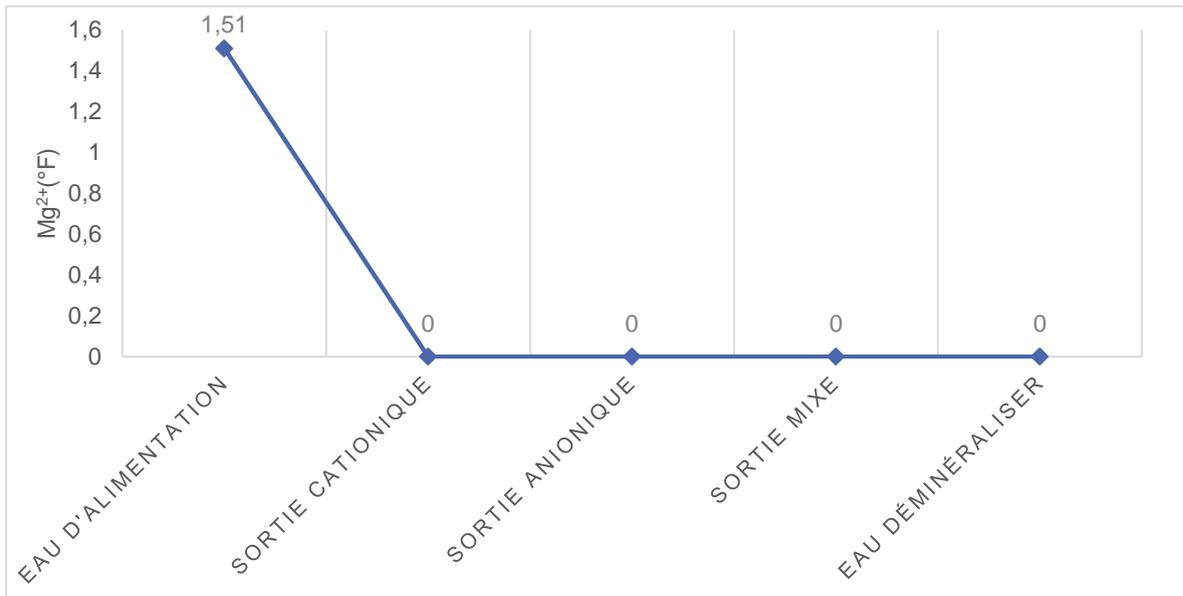


Figure III.6: Variation du magnésium avant et après déminéralisation.

D'après les résultats indiqués dans le **Figure III.6**, l'eau brute révèle une concentration en magnésium plus ou moins élevée égale à 1.51°F. Les cations Mg^{2+} sont retenus par les résines cationiques après déminéralisation, une valeur du TMg nulle est obtenue, Cette valeur confirme aussi les résultats du TH interprétés précédemment.

III.8. Variation de Chlorure

En général, les chlorures se présente principalement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl).

La figure III.7 représente la variation du chlorure avant et après déminéralisation.

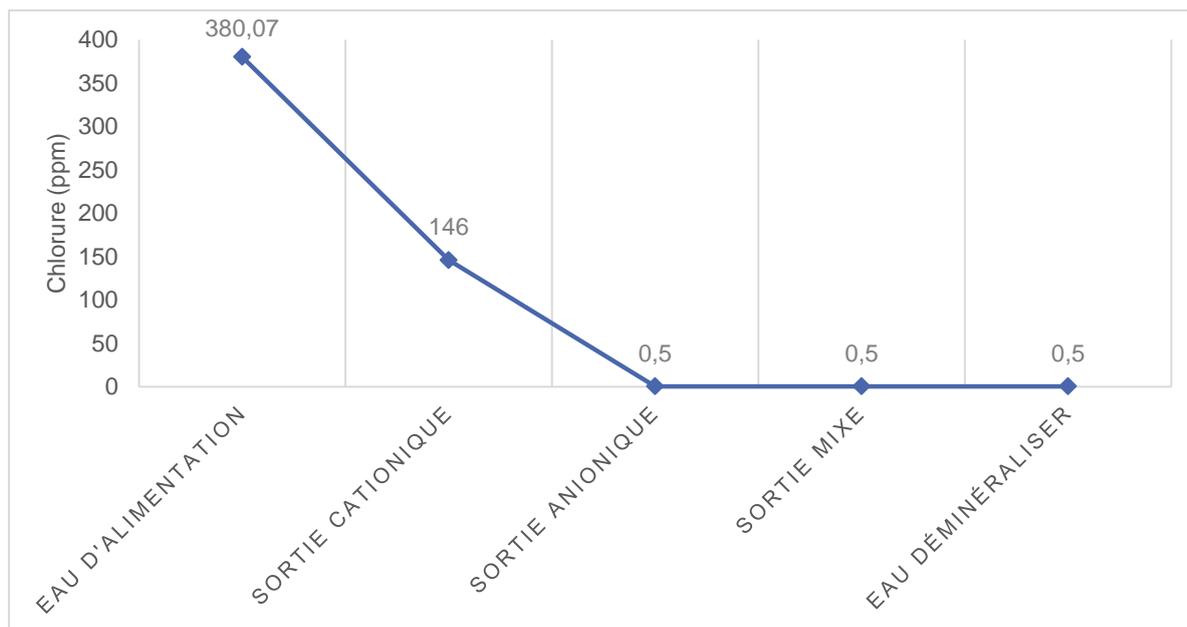


Figure III.7: Variation du chlorure avant et après déminéralisation.

Les résultats de l'analyse de l'eau brute montrent des concentrations énormes en ions chlorure 380,07 ppm dépassant les normes fixées à 202 ppm pour une eau dessalée et 61 ppm pour l'eau de barrage, La présence de cet ion dans les eaux naturelles est due soit au lessivage des roches et des sols sédimentaires, soit à la désinfection des eaux domestiques et des procédés industriels qui emploient le chlore comme agent de blanchissement, des agents de nettoyage domestique et du sel répandu sur les routes en hiver [20].

Après déminéralisation, le processus d'échange anionique retient tous les ions chlorures réduisant sa valeur à néant, permettant ainsi de respecter les normes.

III.9. Variation du Titre alcalimétrique (TA)

La figure III.8 représente la variation du (TA) de l'eau avant et après déminéralisation

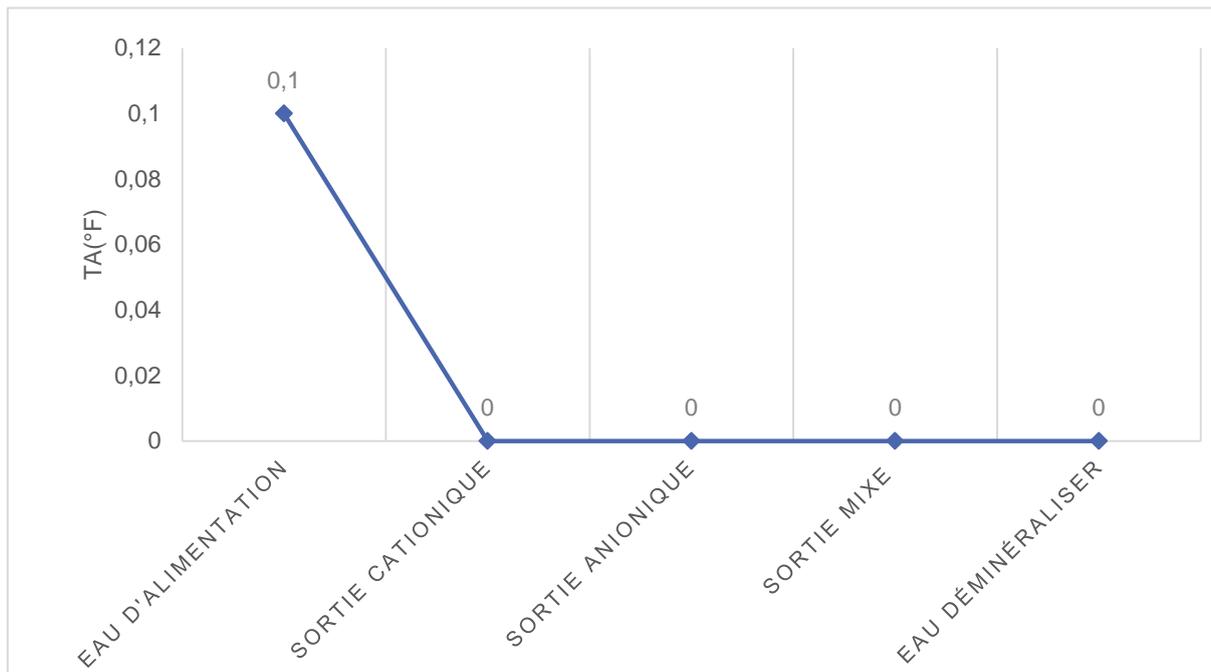


Figure III.8: Variation du titre alcalimétrique avant et après déminéralisation.

D'après les résultats obtenus on remarque que la valeur du titre alcalimétrique simple TA diminue durant le traitement jusqu'à néant ; une valeur minimale d'alcalinité est nécessaire, afin d'éviter la formation d'une couche carbonatée qui peut provoquer l'entartrage des canalisations [17].

III.10. Variation du Titre alcalimétrique complet (TAC)

Le titre TAC exprime l'alcalinité totale de l'eau, il a une importance fondamentale dans le traitement des eaux de refroidissement [17]. La figure III.9 représente la variation du (TAC) de l'eau avant et après déminéralisation.

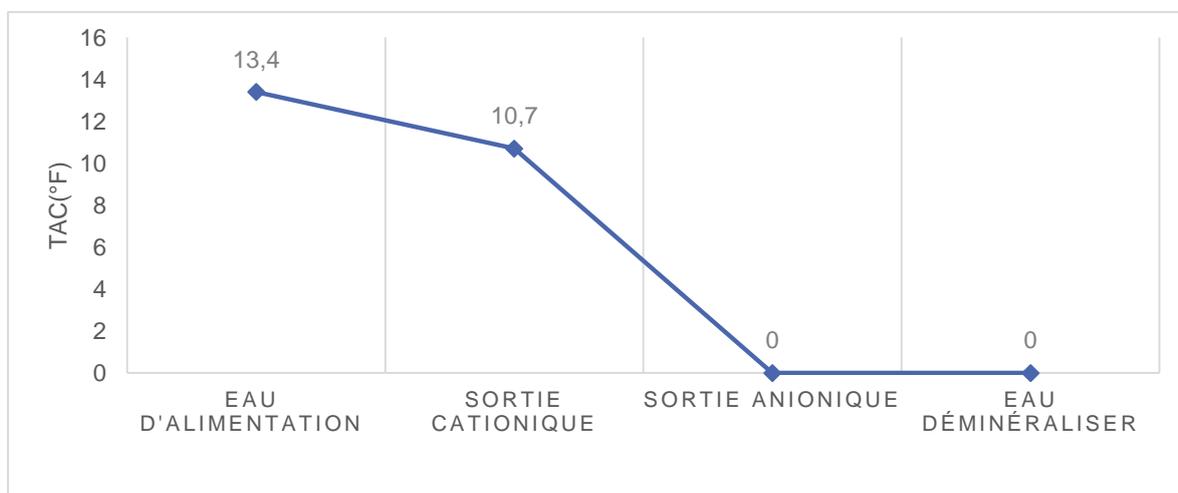


Figure III.9: Variation du titre alcalimétrique complet avant et après déminéralisation.

Les résultats présentés dans la figure III.9 et le tableau IV.4, indiquent une valeur élevée du TAC dans l'eau brute 13.4°F, Cette constatation peut être dû à la nature des terrains lors du ruissellement des eaux fluviales [20]. Après traitement, la valeur du TAC est nulle, ce résultat s'harmonise avec le résultat du pH obtenu précédemment.

III.11. Variation du Fer

La figure III.10 représente la variation du Fer dans l'eau avant et après déminéralisation.

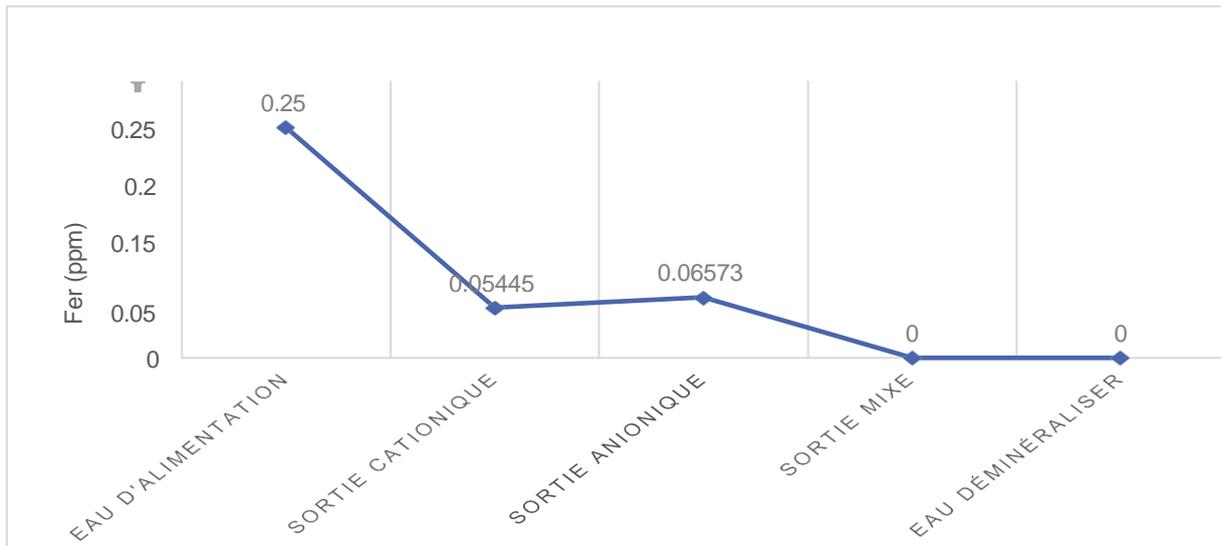


Figure III.10: Variation du Fer avant et après déminéralisation.

D'après la figure x et les valeurs du tableau y, une valeur de fer égale à 0.25ppm, dépassant les normes d'une eau d'alimentation de barrage (0.1ppm) et les normes d'une eau d'alimentation à partir d'une eau dessalée (0.2 ppm), est constatée.

D'après les résultats obtenus après traitement, le processus de déminéralisation a conduit à l'éradication complète de concentration en fer, répandant ainsi aux normes d'une eau déminéralisée (<0.02ppm).

III.12. Variation du Cuivre

La figure III.11 représente la variation du cuivre avant et après déminéralisation.

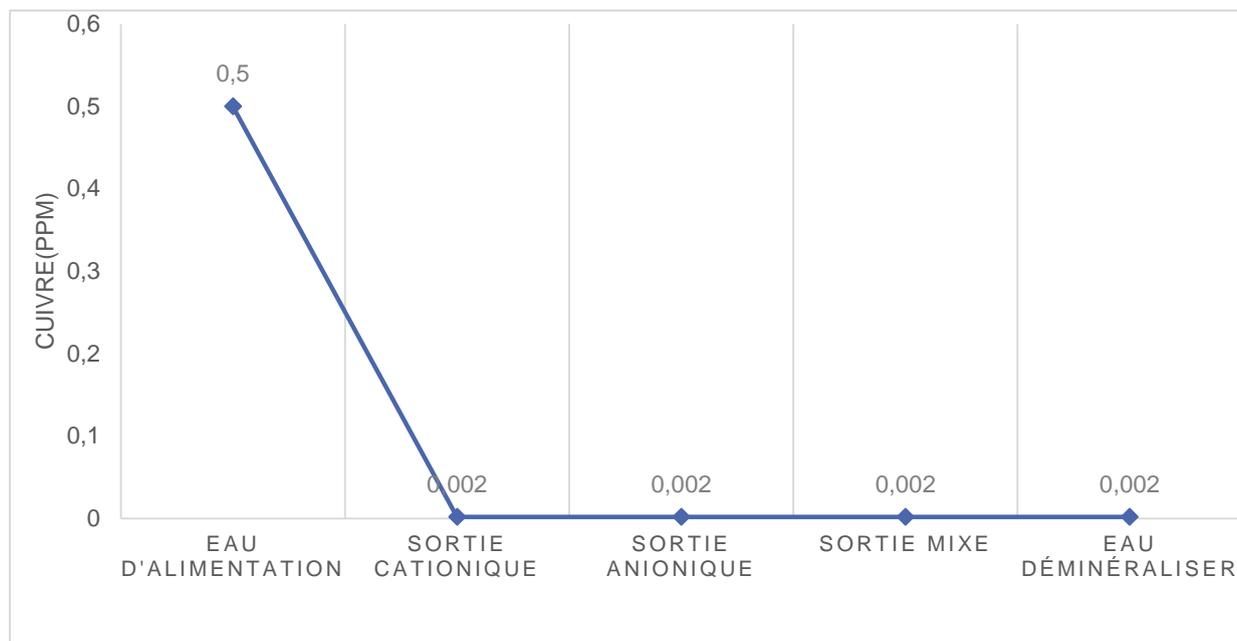


Figure III.11: Variation du cuivre avant et après déminéralisation.

Le cuivre, utilisé comme élément d'addition et d'alliage, nécessite une analyse régulière à la station pour prévenir la corrosion des installations. Selon les résultats trouvés, la valeur du cuivre dans l'eau brute est de 0,5 ppm, mais elle est réduite à zéro après traitement, assurant ainsi que les niveaux de cuivre sont conformes aux normes (inférieure à 0.003 ppm).

III.13. Variation de Silice

La figure III.12 représente la variation de la silice avant et après déminéralisation.

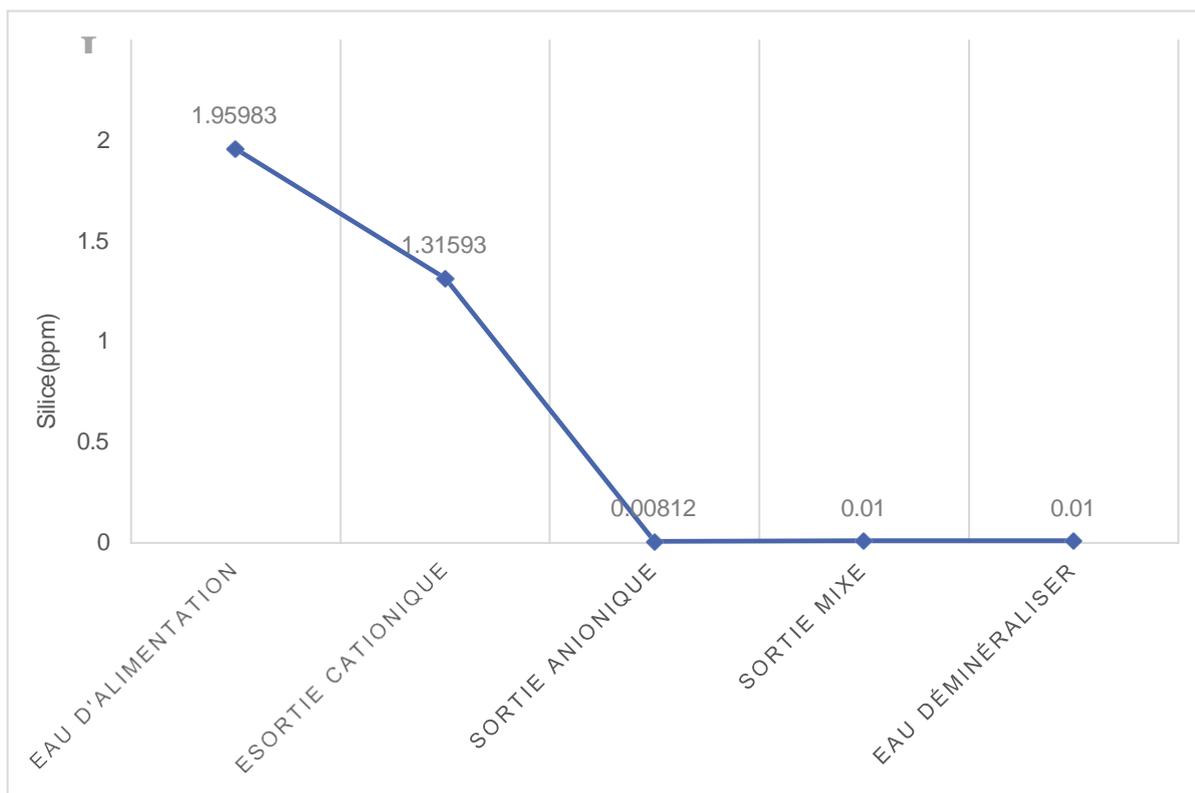


Figure III.12: Variation de la silice avant et t après déminéralisation.

La silice, utilisée comme élément d'addition et d'alliage, nécessite une analyse régulière au niveau de la station pour prévenir la corrosion des installations. D'après les résultats analysés, la valeur de silice dans l'eau brute est de 1.95983 ppm. En revanche, la valeur de silice pour l'eau déminéralisée est négligeable (0.01ppm), garantissant ainsi que les niveaux de silice sont conformes aux normes.

III.14. Résultats du Suivi d'analyse de l'eau avant et après déminéralisation

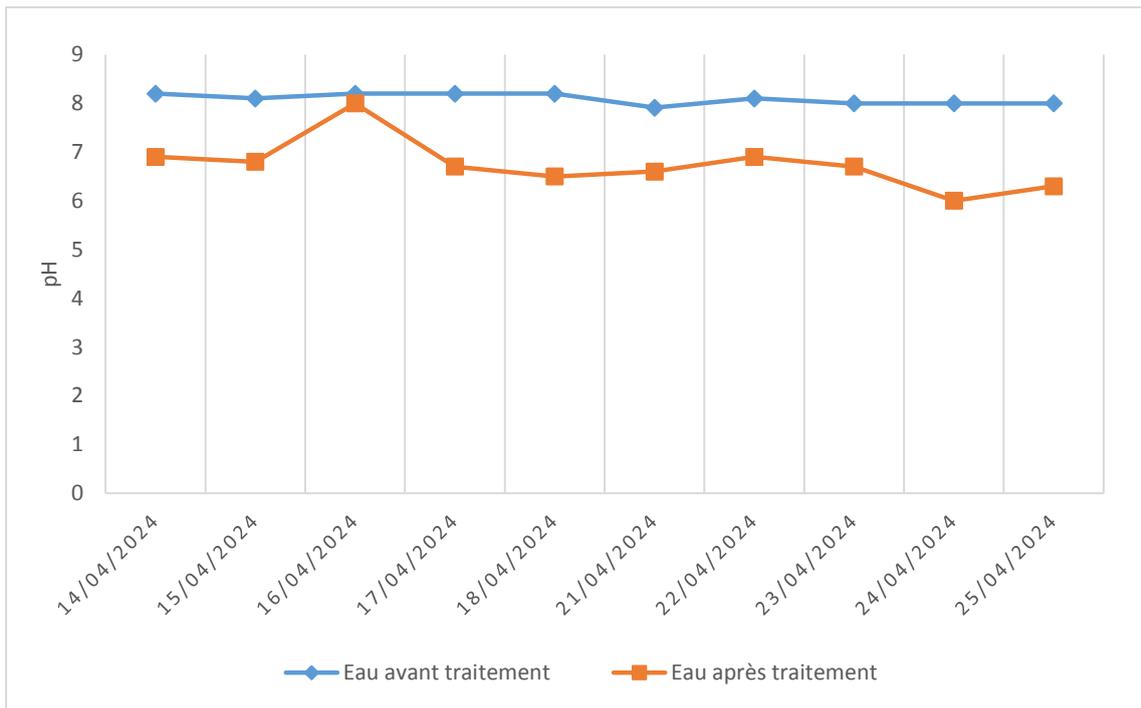


Figure III.13: Variation du pH avant et après déminéralisation en fonction du temps.

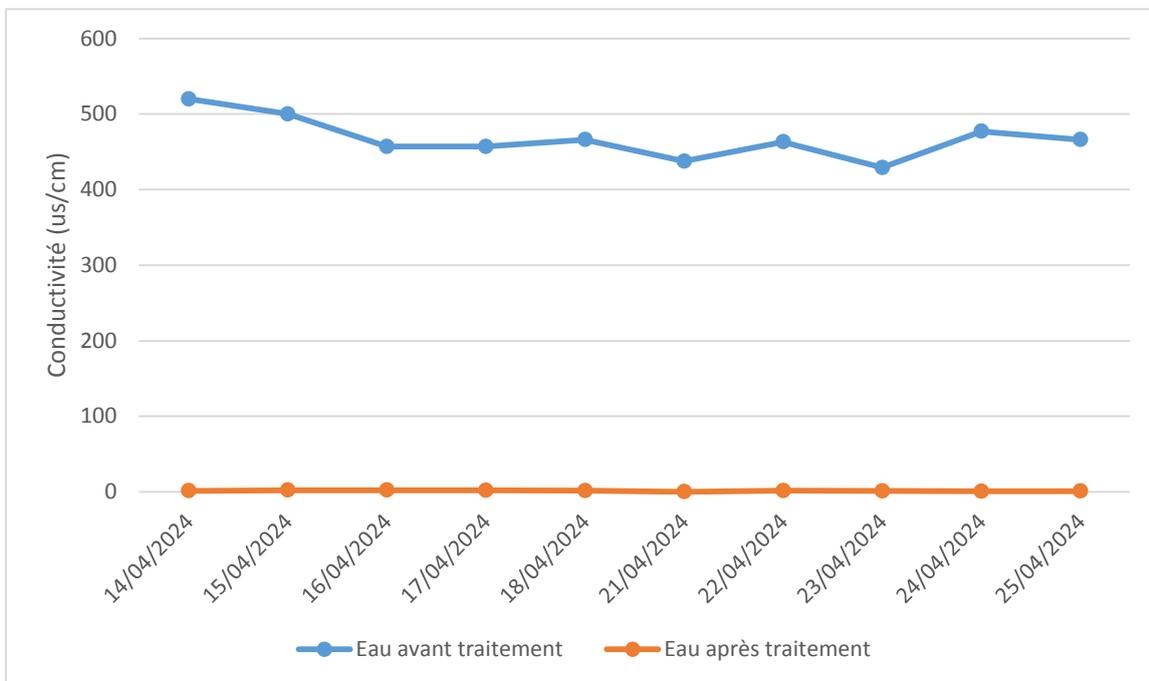


Figure II.14: Variation de la conductivité d'eau avant et après déminéralisation en fonction du temps

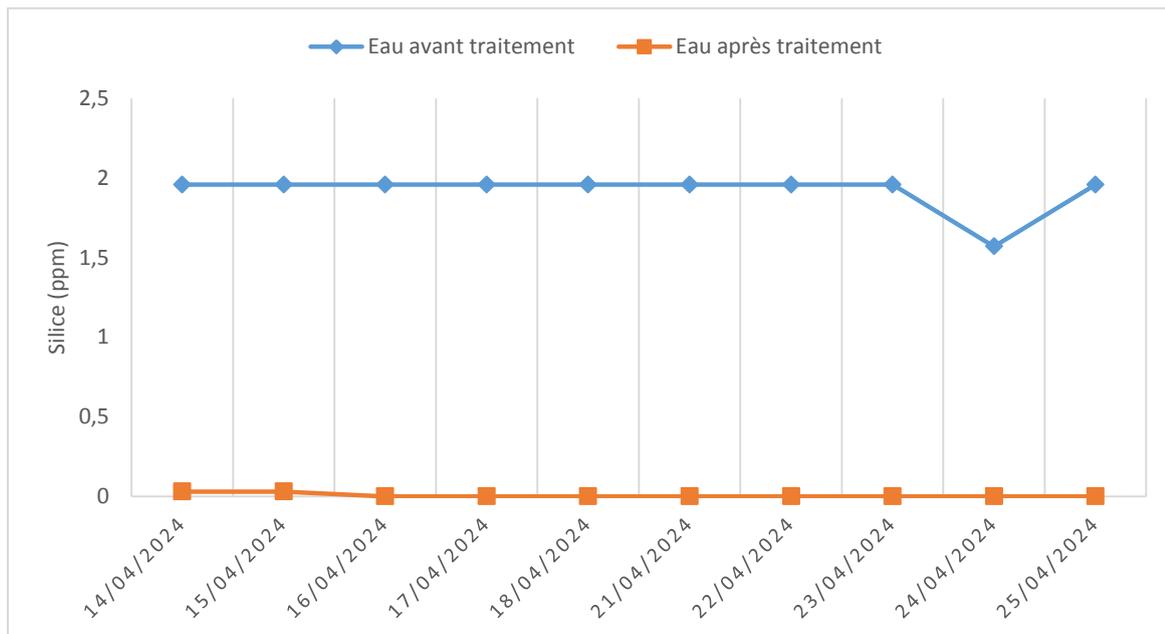


Figure III.15 : Variation de concentration de la Silice avant et après déminéralisation en fonction du temps.

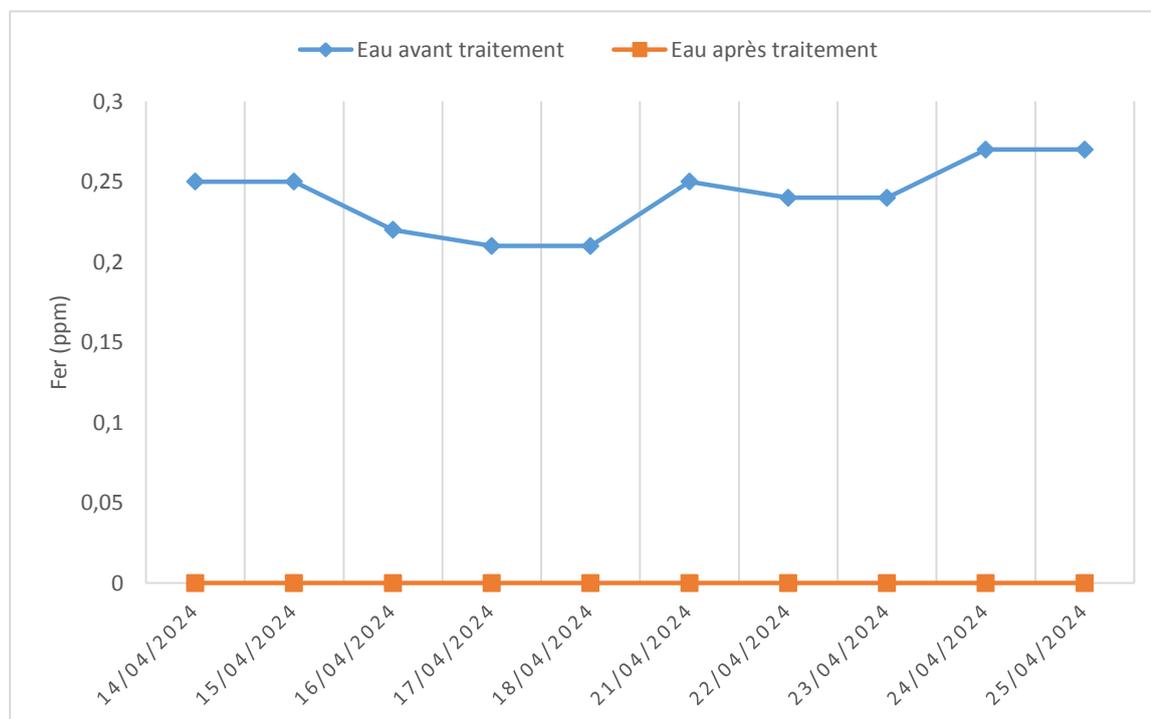


Figure III.16: Variation de concentration du Fer présent dans l'eau avant et après déminéralisation en fonction du temps.

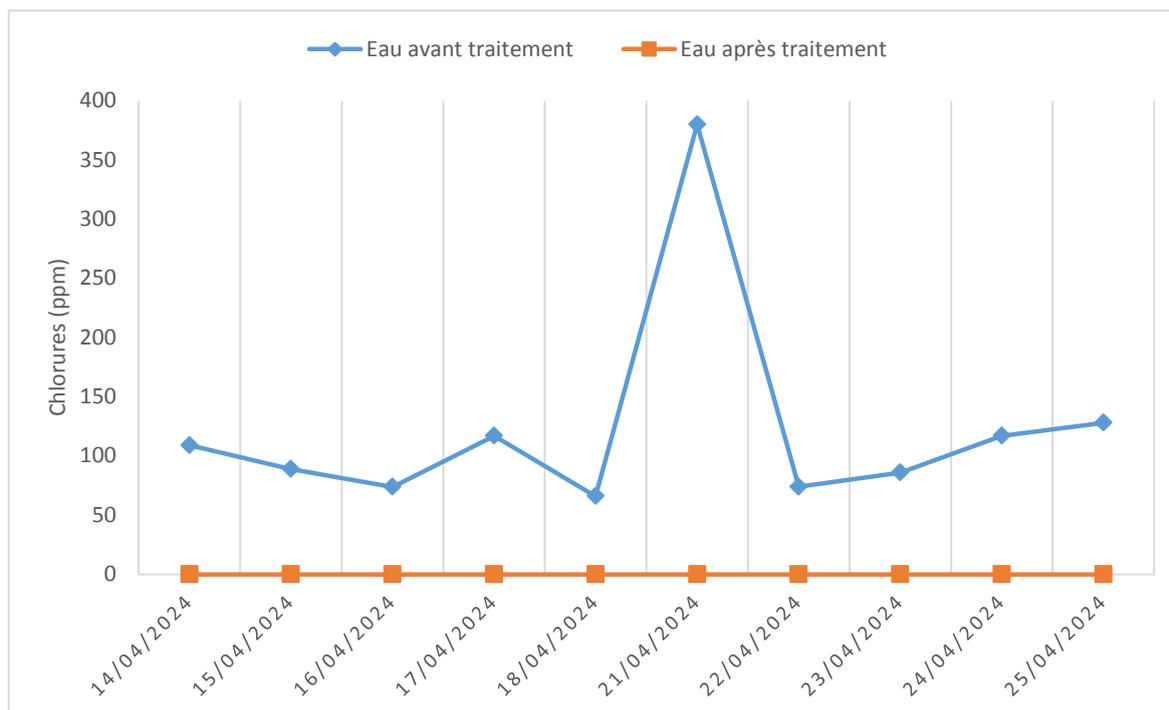


Figure III.17 : Variation de Chlorures présent dans l'eau avant et après déminéralisation en fonction du temps.

Interprétation

Un suivi d'analyse sur 10 jours, des paramètres précédemment présentés a été effectué pendant la période du stage.

- Le suivi du pH (Figures III.13), montre des valeurs inférieures à 7 tout au long du suivi ceci répond aux normes exigés, à l'exception de la journée du 16/04/2024 où le pH a été trouvé égale à 8 cette valeur peut être dû à un mauvais échantillonnage ou à une mauvaise méthode d'analyse.

- Des valeurs de conductivités varient entre 520 et 429 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avant traitement, ces valeurs chutent à (entre 2.3 et 0.05 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ceci implique que l'eau après traitement est parfaitement déminéralisée c'est-à-dire que les cations et anions présent précédemment sont presque complètement éliminés. C'est pourquoi, il n'est pas nécessaire d'effectuer l'analyse de TH, Mg^{2+} et Ca^{2+} car c'est dernier sont considérés comme nulle.

- Des valeurs de pH inférieures à 8.3 ont été obtenues, ce qui indique des valeurs nulles du TA et TAC [17]. Ceci a été prouvé précédemment (figures III.8 et III.9, tableau IV.4). C'est pourquoi l'analyse du TA et TAC n'est pas nécessaire d'être effectué.

- Les quantités de silices après traitement répondent aux normes ($<0.02\text{ppm}$) sauf le 14 et 15/04/2024 où on distingue une légère augmentation (0.03ppm) ceci peut être interprété par un mauvais traitement de la station.

- Des concentrations de Fer conforment aux normes exigés (inferieurs à 0.02ppm) sont obtenues au cour du suivi après déminéralisation.
- Avant traitement, des concentrations élever de Cl⁻ sont distingués, un pic est observé le 21/04/2024 ceci est dû à une alimentation à partir de la station d'eau de barrage ce jour ci, la présence de cette ion en grande quantité est peut-être due à l'excès d'utilisation de chlorure durent le processus de traitement de cette eau. Après déminéralisation les quantités de chlorures deviennent négligeable (<0.5 ppm) tout au long du suivi ce qui prouve l'efficacité du traitement

III.15. Conclusion

Les résultats obtenus permettent d'affirmer que l'eau traitée atteint un niveau de qualité élevé, étant donné qu'elle est entièrement déminéralisée. Par conséquent, il est clair que la station de déminéralisation fonctionne de manière optimale.

Conclusion générale

La réalisation de ce projet nous a donné l'opportunité d'explorer en détail le processus de déminéralisation au sein de l'unité (DM) localisée à la RA1/k de Skikda, qui représente une méthode largement adoptée pour obtenir une eau pure, à partir d'une source d'eau brute caractérisée par des concentrations élevées en sels dissous.

La déminéralisation, un processus visant à éliminer partiellement ou complètement les sels dissous, est principalement réalisée par le biais d'un échange d'ions, une technologie efficace impliquant l'utilisation de résines échangeuses d'ions.

La présente étude s'est concentrée sur le suivi de l'efficacité du processus d'échange d'ions dans le traitement par déminéralisation des eaux d'alimentation des chaudières, tout en examinant différents paramètres tels que: pH, conductivité, TH, TA, TAC, silice, le fer, calcium, magnésium, chlorure.

D'après les résultats issus des analyses en laboratoire, il a été observé que l'eau était complètement déminéralisée et dégazée. Les valeurs des paramètres physicochimiques mesurés étaient toutes conformes aux normes en vigueur.

Cette eau déminéralisée confirme ainsi la qualité satisfaisante de l'eau traitée et témoignant du bon fonctionnement de la station de déminéralisation. Cette dernière est donc parfaitement adaptée pour une utilisation dans les chaudières à haute pression.

En conclusion, malgré quelques inconvénients inhérents à cette méthode tels que l'utilisation de grandes quantités de produits chimiques, il est indéniable que l'utilisation de cette méthode de traitement présente des avantages significatifs par rapport à la distillation, notamment une production accrue d'eau de qualité supérieure.

Références bibliographiques

- [1] Mechtati F. 2006. Etude des paramètres physico-chimiques avant et après traitement des rejets liquide de (RA1K). Mémoire de magister en chimie. Pollution chimique et environnement. Université de Skikda.
- [2] Documentation de la Raffinerie du complexe pétrochimique de SKIKDA (RA1/K).
- [3] Touahri O ; Trachi W. 2013. Analyse et description des postes Cas DRGB/Sonatrach. Mémoire de master. Gestion des Ressources Humaines. Université de Bejaïa.
- [4] https://sonatrach.com/wp-content/uploads/2018/10/Oil_Gas_map_of_Algeria_2018.jpg.
- [5] Faride L ; Samia B. 2006. Traitement des eaux usées industrielle dans la raffinerie de Skikda. Mémoire d'ingénieur d'état en chimie industriel. Génie de l'environnement. Université de Constantine.
- [6] Messai B ; Djebaili M. 2005. Etude des pertes de charge dans un tronçon de train de préchauffage du TOPPING U11 de la RA1K. Mémoire d'ingénieur d'état. Génie des procédés chimiques et pharmaceutiques. Université de Boumerdes.
- [7] Sabrina G ; Lynda A ; SOUMIA B. 1998. Tentative d'expertise de la STEP de la Raffinerie de Skikda.
- [8] Document : Projet de réhabilitation & d'adaptation de la raffinerie de Skikda. Manuel de fonctionnement et de maintenance. Station de déminéralisation-II volume I.
- [9] Marezouk Trifi I. 2012. Etude de l'élimination du chrome(VI) par adsorption sur l'alumine activée et par dialyse ionique croisée. Mémoire de doctorat. Chimie. Université de Tunis.
- [10] Iwema A ; Raby D ; Lesavre J ; Boutin C. 2005. Epuration des eaux usées domestiques par filtres plantes de macrophytes. Recommandations techniques pour la conception et la réalisation. Groupe macrophytes et traitement des eaux. Agence de l'eau. France.
- [11] Gomella C ; Guerrée, H. 1978. Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales (II- Le traitement). Editions EYROLLES. Paris, France.

- [12] Lindberg C. 1997. Control and estimation strategies applied to the activated sludge process. . Thèse de doctorat. Department of Materials Science Systems and Control Group Uppsala Université Sweden.
- [13] Jeppsson, U. 1996. Modelling Aspects of Wastewater Treatment Processes. Thèse de doctorat. Department of Industrial Electrical Engineering and Automation (IEA). Lund Institute of Technology (LTH). Université Sweden.
- [14] Noureddine N. 2008. Etude d'impact des rejets des eaux de la station de déminéralisation de brédéah sur l'environnement. Mémoire présenté en vue du diplôme de magister. Université d'Oran.
- [15] Best Water Technology, BWT group. « Déminéralisation sur résine » (les standards PERMO), Service pub PERMO, 06-08, 2000.
- [16] Notice technique sur les centrales thermiques. « Le traitement des eaux ». Fascicule N°10, 2eme Edition, Avril 1970.
- [17] Kohil M ; Yousfi N. 2021. Etude de l'efficacité du traitement des eaux de refroidissement de l'unité TSS du complexe Sidérurgique d'EL-HADjar. Mémoire de fin d'étude de master. Génie des procédés. Université d'Annaba.
- [18] Sahbi N. 2012. Étude de dessalement des eaux de mer par l'Osmose inverse de la commune de Bou Haroun – Dimensionnement. Mémoire *de fin d'étude de master*. Faculté des Sciences et de la technologie. Université Larbi Ben M'hidi. Oum El Bouaghi,
- [19] Slama I; Himri A; Rahdoun K. 2021. Analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau des sources de la région de Guelma. Mémoire de fin d'étude de master. Microbiologie Appliquée .Université de Guelma.
- [20] Kazzoula CH. 2018. Suivre de la qualité des eaux de la zone-est du complexe sidérurgique d'EL-HADJAR. Mémoire de fin d'étude de master. Génie des procédés Université d'Annaba.
- [22] Document de la raffinerie de Skikda RA1K. Système Management de la qualité. Manuel des modes opératoires d'analyse produits pétroliers –RA1K-.12/02/2024.

ANNEXES

ANNEXE 1

Préparations pour l'échantillonnage

❖ Récipients pour échantillons

Les récipients destinés à recevoir les échantillons liquides peuvent être des bouteilles en verre ; des bidons métalliques ou des bouteilles en PVC. Dans notre cas on a utilisé ses bouteilles en PVC.

Les récipients d'échantillons doivent être fermés par des capsules vissées pour s'assurer de leur parfaite étanchéité [22].

❖ Procédé de nettoyage

Tous les récipients destinés à l'échantillonnage doivent être absolument propres et exempts d'eau et d'impuretés.

Les bouteilles utilisées pour le prélèvement des eaux doivent être rincées par l'eau distillée.

Lorsque les récipients sont secs, les fermer immédiatement avec leurs bouchons ou leurs couvercles.

Avant le prélèvement de l'échantillon, les récipients nettoyés sont encore rincés avec un peu de produit à prélever.

❖ Etiquetage des récipients à échantillons

Etiqueter le récipient dès que l'échantillon a été prélevé mentions nécessaires pour permettre l'identification d'échantillon sans contestation, les indications principales de l'étiquetage sont:

- Nature du produit.
- Origine de l'échantillon.
- Origine du produit.
- Niveau de prélèvement.
- Date et heure du prélèvement.
- Nom et signature de l'échantillonneur.

ANNEXE 1



Figure 1: Echantillonnage.

Modes opératoires

❖ Détermination de l'alcalinité TA

- Instruction

Prélever 100 ml d'échantillon dans un erlenmeyer de 300 ml après ajouter 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine.

En présence de l'alcalinité (TA), on obtient une couleur rose pale, puis l'échantillon est titré avec l'acide sulfurique H_2SO_4 à 0.02 N jusqu'à la disparition de la couleur rose, enfin le volume V_a en ml est noté. [22]

- Expression du résultat

TA en ppm de $CaCO_3 = V_a \times 10$.

ANNEXE 1

❖ Détermination de l'alcalinité TAC

A la même solution précédente, ajouter 2 à 3 gouttes d'indicateur mixte (couleur bleu), après continuer à titrer avec l'acide sulfurique (H_2SO_4 à 0.02 N jusqu'au virage du bleu à la couleur rose paie et noter le volume V_b en ml [22] .

- Expression du résultat

TAC en ppm de $CaCO_3 = V \times 10$ avec: $V=V_a+V_b$.

- Remarques importants

TACC: Correspond à la somme des hydroxydes $[OH^-]$, des carbonates et biocarbonates $[HCO_3^-]$.

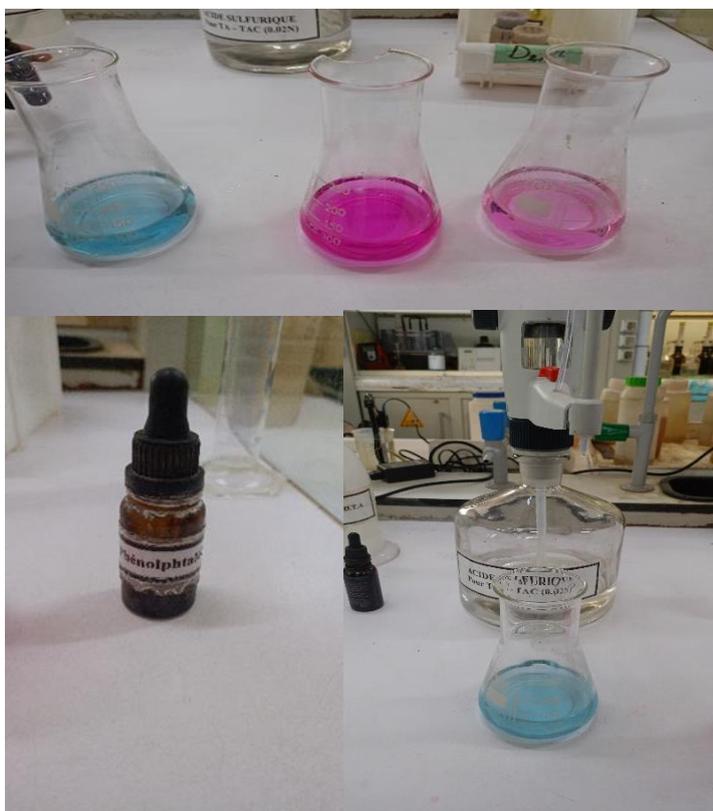


Figure 2: Analyse d'alcalinité (TA et TAC).

❖ Détermination du pH

- Instructions

Allumer l'appareil et laisser se stabiliser, après laver soigneusement les électrodes avec de l'eau distillée et remplir le bécquer avec l'eau à analyser, après immerger les électrodes dans l'échantillon, et enfin lire la valeur du pH affectée sur l'écran du pH mètre [22] .

ANNEXE 1

- Remarques importantes

1. Lors de la lecture de pH ; les manipulations doivent être faites rapidement pour éviter l'absorption de CO₂.
2. Garder toujours les électrodes émergées dans l'eau distillée



Figure 3: Analyse de conductivité et pH.

❖ Détermination de la dureté totale TH

- Instruction

Introduire 50 mL d'eau à analyser dans un erlenmeyer prélevé à la fiole jaugée, après ajouter 2mL de solution tampon ammoniacal pH = 10 à l'aide de la dispensente. Et enfin jouter 10 gouttes de solution de NET. La solution se colore en rouge-violet.

Avec la burette, en maintenant une agitation, verser la solution d'EDTA (0,01 mol/L) :

- Rapidement au début
- Goutte à goutte lorsque la coloration commence à virer au bleu,
- Vérifier que la coloration ne change pas par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA. Soit V_a le volume d'EDTA ajouté pour atteindre l'équivalence[22].

- Expression des résultats

$$TH = 0,2 * V_a$$

ANNEXE 1

❖ Détermination du calcium

- Instruction

Prendre 100 ml d'échantillon ou une partie aliquote mineure diluée à 100 ml dans un erlenmeyer de 300ml, après ajouter 2 ml de solution de NaOH à 1N, puis agiter et ajouter une pincée d'indicateur murexide (de couleur rose foncée), titrer avec L'EDTA à 0.01 M, en agitant continuellement jusqu'au virage mauve claire, et enfin noter le volume titré d'EDTA[22].

- Expression du résultat

$[Ca^{2+}]$ en ppm de $CaCO_3 = V \text{ EDTA} * 10$.

❖ Détermination du magnésium

Par différence entre la dureté totale et la dureté calcique, on obtient la dureté du Magnésium Mg^{2+} exprimée en ppm de $CaCO_3$.

Dureté du $[Mg^{2+}]$ en ppm de $CaCO_3 = \text{dureté total TH} - \text{dureté du calcium } Ca^{2+}$ [22].

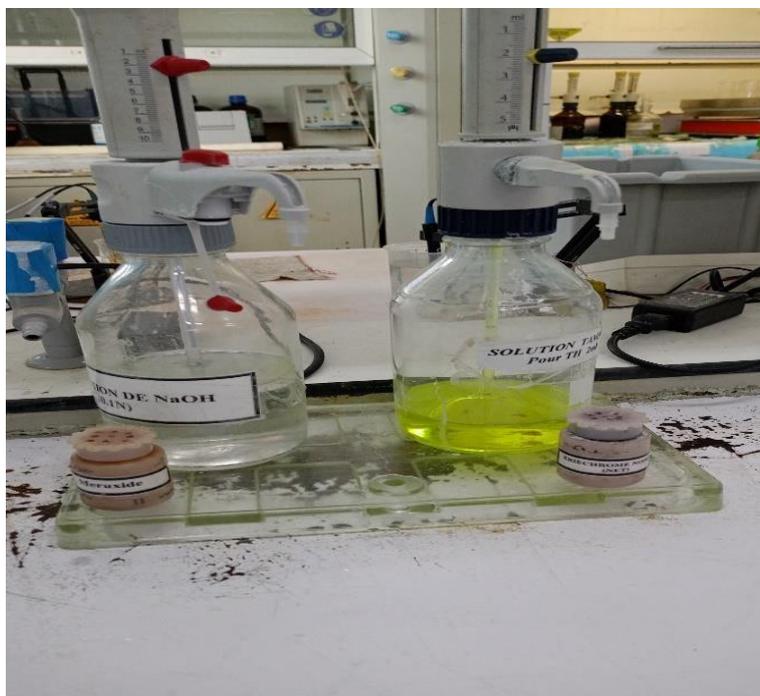


Figure 4: Analyse de TH et Ca^{2+} .

ANNEXE 1

❖ Détermination des chlorures (Cl^-) Hautes Teneurs

- Instruction

Introduire une prise d'essai de 100 ml dans un erlenmeyer puis ajouter 2 gouttes de Chromate de Potassium. Enfin Titrer avec la solution de nitrate d'Argent (AgNO_3) à 0.02N Jusqu'au virage du jaune au rouge brique[22].

- Expression du résultat

$[\text{Cl}^-]$ en ppm = $(V - \text{blanc}) * 71$ Avec Blanc = 0.4



Figure 5: Analyse de chlorures hautes teneurs.

❖ Détermination des Chlorures (Cl^-) faibles teneurs

- Instruction

Introduire une prise d'essai de 100 ml dans un erlenmeyer après ajouter 2 gouttes de bleu de bromophénol, puis ajouter goutte à goutte HNO_3 à 0.05 N jusqu'au virage du bleu au jaune clair après ajouter 1 ml de Diphényle carbazone, titrer avec le nitrate de mercure $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ à 0.014N Jusqu'au virage au violet, enfin noter le volume v titré[22].

- Expression du résultat

$[\text{Cl}^-]$ on ppm = $(V - \text{blanc}) * 5$ avec le blanc = 01.

ANNEXE 1



Figure 6: Analyse de chlorures faibles teneurs.

❖ **Détermination du fer total (méthode ortho-phenanthroline)**

- **Instruction**

Verser 100ml d'échantillon dans un erlenmeyer 300ml puis ajouter 2ml de HCl (1/1) et 1ml de chlorure d'hydroxylamine, et faire bouillir jusqu'à réduction du volume à 10ml d'échantillon. Après compléter avec de l'eau distillée jusqu'au volume de 75ml, et ajouter 1ml de chlorure d'hydroxylamine + 5ml d'ortho-phenanthroline + 5ml de solution tampon d'acétate d'ammonium + 2ml d'hydroxyde d'ammonium puis agiter et attendre 5min, enfin lire au spectrophotomètre à ($\lambda = 510 \text{ nm}$). Préparer un blanc avec 100 ml d'eau distillé et suivre le même protocole [22].

- **Expression du résultat**

[Total Fer ppm] = A x F Avec A absorbance et F = 5.3

❖ **Détermination de cuivre**

- **Instruction**

Introduire 10 ml d'échantillon dans un erlenmeyer de 250 ml puis ajouter 40 ml d'eau distillé, et ajouté la solution d'ammoniaque diluée (NH_4OH) jusqu'à la couleur devient bleu intensive, après ajoute quelques goutte d'acide chlorhydrique jusqu'à l'apparition d'une couleur vert transparent et ajouté 20ml de solution d'iodure de potassium (KI) a 10% et 5 ml d'acide acétique (0.1N) et ajouté 2 gouttes de solutions d'amidon la couleur devient noire en fin commencé le titrage par une solution thiosulfate de Sodium ($\text{S}_2\text{O}_3\text{Na}_3$) jusqu'à l'apparition de couleur blanche [22].

ANNEXE 1

❖ Détermination de la silice

- Instruction

Introduire 50 ml d'échantillon dans une éprouvette de 100 ml puis ajouter 1 ml d'acide chlorhydrique à (1/1), et ajouter 2 ml de la solution de molybdate d'ammonium, agiter et attendre 5 minutes puis ajouter 1.5 ml d'acide oxalique et attendre 1 minute, après ajouter 2 ml d'acide amino naphthol sulfonique (ANS) et agiter et laisser reposer 10 minutes, enfin lire l'absorbance au spectrophotomètre avec une cellule de 10 mm à une longueur d'onde de ($\lambda=815\text{ nm}$) [22].

- Expression du résultat

(SiO₂) en ppm= A x F [A : absorbance et F : facteur (3, 25)].

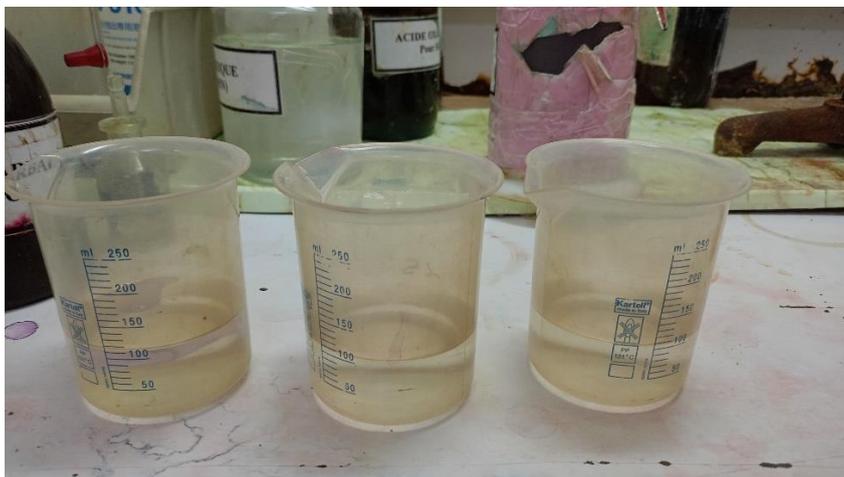


Figure 7: Analyse de la silice.

ANNEXE 2

Tableau III.1: Résultats d'analyse de l'eau avant et après déminéralisation.

Essais Paramètres	Unités	Eau d'alimentation	Sortie Cationique	Sortie anionique	Sortie mère	Eau déminéralisée
pH	/	7.91	3.1	8.7	6.6	6.6
Conductivité	µS /cm	437.6	21.4	2.5	0.05	0.05
Température	°C	19	20	19.5	20	20
TH	°F	7.29	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Ca²⁺	°F	5.78	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Mg²⁺	°F	1.51	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Chlorure (Cl)	ppm	380.07	146	<0.5	<0.5	<0.5
TA	°F	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
TAC	°F	13.4	10.7	0.02	<0.02	<0.02
Fer	ppm	0.25	0.05445	0.06573	<0.02	<0.02
Cuivre	ppm	0.5	0.002	0.002	0.002	0.002
Silice (SiO₂)	ppm	1.9598	1.31593	0.00812	0.01	0.01

ANNEXE 2

Tableau III.2 : Résultats d'analyse de l'eau avant déminéralisation.

Analyses Dates	pH	Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)	TA ($^{\circ}\text{F}$)	TAC ($^{\circ}\text{F}$)	TH ($^{\circ}\text{F}$)	Ca^{2+} ($^{\circ}\text{F}$)	Mg^{2+} ($^{\circ}\text{F}$)	Cl (ppm)	SiO_2 (ppm)	Fer total (ppm)
14/04/2024	8.2	520	<0.05	11.8	25	13	12	109	/	0.25
15/04/2024	8.1	500	<0.05	11.9	22	14	8	89	/	/
16/04/2024	8.2	457	<0.05	10.9	20.6	15.8	5.8	73.8	/	0.22
17/04/2024	8.2	457	<0.05	12.5	26	15	11	117	/	0.21
18/04/2024	8.2	466	<0.05	16	22	14.8	7.2	66	/	/
21/04/2024	7.91	437.6	<0.05	13.4	7.29	5.78	1.51	380.07	1.958 3	0.25
22/04/2024	8.1	463	<0.05	12.8	22.6	14	8.6	74	/	0.24
23/04/2024	8	429	<0.05	12	244	15	9.4	86	/	/
24/04/2024	8	477	<0.05	11.3	230	15	8	117	1.57	0.27
25/04/2024	8	466	<0.05	11.8	210	15	6	128	/	/

ANNEXE 2

Tableau III.3: Résultats d'analyses de l'eau après déminéralisation.

<div style="display: inline-block; transform: rotate(-45deg); white-space: nowrap;"> Analyses Dates </div>	pH	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cl^- (ppm)	SiO_2 (ppm)	Fer Total (ppm)
14/04/2024	6.9	1.3	<0.5	0.03	<0.02
15/04/2024	6.8	2.3	<0.5	0.03	<0.02
16/04/2024	8	2.1	<0.5	<0.02	<0.02
17/04/2024	6.7	1.9	<0.5	<0.02	/
18/04/2024	6.5	1.5	<0.5	<0.02	/
21/04/2024	6.6	0.05	<0.5	<0.02	<0.02
22/04/2024	6.9	1.6	<0.5	<0.02	<0.02
23/04/2024	6.7	1.1	<0.5	/	/
24/04/2024	6	0.8	<0.5	/	/
25/04/2024	6.3	1	<0.5	<0.02	/