

تبيعشلا تيط ارقم دلا تيرنازجا تيروهمجلا

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

يملعلا ثحبلاو يناعلا ميلعتلا قرارو

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES
DEPARTEMENT DE GENIE DE L'ENVIRONNEMENT



*En vue de l'obtention du diplôme
De MASTER en GÉNIE DE L'ENVIRONNEMENT*

Option : Traitement des eaux

Thème

**Étude de la performance de la nouvelle station
de déminéralisation de l'eau brute au niveau de
la centrale thermique de CAP-DJINET**

Soutenu le : 01/07/2017

par : GUERNANE Khadidja

Jury de soutenance :

A.R.YEDDOU	MCA	Professeur
A.ASELAH	MCB	UMBB
F.BOUMECHHOUR	MCB	UMBB
H. BAHLOUL	MAA	UMBB

Année universitaire 2016/2017

Remerciements

*Avant toute chose, nous remercions Allah le tout puissant de nous avoir donné
l'opportunité et la force de réaliser ce travail,*

*Nous tenions à remercier vivement notre enseignante et promotrice
Mme. F. BOUMECHHOURÉ pour sa gentillesse, son aide et ses conseils
précieux,*

*Tout particulièrement et à témoigner toute ma reconnaissance aux personnels de
l'unité de Cap Djinet à leurs tête mon encadreur Mr. CHARABI athmane
pour leur chaleureux accueil et leur aide et coopération professionnelle depuis le
début de la réalisation de ce travail.*

*Nous remercions aussi, Mr. HAFID Khaled et Mr. DJEBAL Rachid pour leurs
aides et leurs encouragements durant toute la période de notre stage,*

*Un merci bien particulier adressé également à Mr AKKOUCHE, pour nous
avoir accueillis,*

*J'exprime aussi mes remerciements à Monsieur AHMED Tazerouti pour la
confiance et la gentillesse,*

*Sans oublier à remercier les membres du jury qui nous ont fait l'honneur
d'accepter le jugement de notre travail,*

*Nos remerciements s'adressent aussi, à nos enseignants du Département génie de
l'environnement,*

Merci à tous

Khadija

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents qui ont sacrifié leur vie pour ma réussite et qui

Ont éclairé mon chemin par leurs conseils judicieux,

Que Dieu leur prête bonheur et bonne santé,

A mes très chers frères Rami, Yacine et Abdou

Et ma belle-sœur Berdis,

Je vous souhaite une vie pleine de joie, de bonheur et de réussite,

A toute ma famille,

A tous mes amis, et voisins,

Et mon fiancé Lounes,

*A ma très chères sœurs "Nabila et Hanane, Zyneb, Salma " et toutes
leurs familles,*

A tout le groupe MTE-15,

A tous ceux qui m'ont encouragé dans ma vie.

Khadija

Résumé

L'objectif de cette étude consiste à étudier la performance de la nouvelle station de déminéralisation de l'eau brute par échange d'ions au niveau de la centrale thermique de CAP- DJINET.

Le procédé de déminéralisation par échange d'ions est utilisé afin d'éliminer tous les sels dissouts pour éviter les risques de corrosion et d'entartrages des différentes canalisations et circuit de fonctionnement. Cette dernière consiste à faire passer l'eau brute à travers un filtre de résine d'échange ionique : cationique forte, anionique forte et un filtre à lit mélangé pour un traitement de finition. Afin de mesurer l'efficacité de ce procédé, des analyses physico-chimiques ont été réalisées sur l'eau brute ainsi que sur les différentes eaux : cationique, anionique et l'eau sortant du lit mélangé.

Les résultats expérimentaux obtenus, montrent que la qualité de l'eau produite est de parfaite qualité, ce qui dénote l'efficacité des procédés utilisés.

Mots clés : Energie électrique, Eau brute, Echange d'ions, Résine, Déminéralisation.

ملخص

ان الهدف من هذا البحث هو دراسة كفاءة المحطة الجديدة للماء الخام عن طريق تبادل الايونات علي مستوى محطة توليد الكهرباء كاب جينات.

عملية التنقية بالتبادل الايوني لإزالة الأملاح الذائبة من اجل تجنب خطر التآكل والتحجيم من مختلف الانابيب والتشغيل ويشمل هذا الأخير يمر الماء الخام من خلال فلتر راتنج التبادل الأيوني: الموجبة قوي، أنيونية قوي ومرشح السرير المختلط لتجهيز حساب، نحصل على الماء منزوع الأيونات نقيه جدا الضروري لتغذية المساعدين الكهربائيه.

وتجرى التحاليل الفيزيائية والكيميائية على صفات مختلفة من المياه المنتجة والماء منزوع الأيونات في وحدة السرير مختلطة وقد اظهرت النتائج أن نوعية المياه المنتجة هي من نوعية ممتازة مما يدل على كفاءة العمليات المستخدمة

كلمات البحث: الطاقة الكهربائيه المياه الخام، راتنج التبادل الأيوني، والتنقيه والتصفية السرير مختلطة

Abstract

The process of ion exchange demineralization, in order to eliminate all the dissolved salts in order to avoid the risk of corrosion and scaling of the various pipes and operating circuits. The latter consists in passing the raw water through an ion exchange resin filter: strong cationic, strong anionic and a mixed bed filter for treatment; we obtain very pure demineralized water necessary for the supply of the Electrical auxiliaries.

Physico-chemical analyzes are carried out on the different qualities of water produced and on demineralised water at the mixed bed unit level.

The experimental results obtained show that the quality of the water produced is of perfect quality, which indicates the efficiency of the processes used.

Key words: electrical energy, raw water, ion exchange, resin, demineralization, mixed bed filter.

SOMMAIRE

Liste des figures	IV
Liste des tableaux	VI
Liste d'abréviation	VII
Introduction générale.....	1

Partie I : Bibliographie

Chapitre I : Généralité sur les eaux brutes

I.1. Généralités sur les eaux brutes.....	2
I.2. Différentes eaux naturelles	2
I.3. Propriétés des eaux souterraines	3
I.4. Principales caractéristiques des eaux souterraines	3
I.5. Trois états de l'eau	4
I.6. Propriétés physico-chimiques de l'eau	4
I.7. Cycle de l'eau	5
I.8. Constitués des eaux brute.....	5
I.8.1. Solides en suspension.....	5
I.8.2. Solides dissous (sels).....	6
I.9. Conclusion.....	6

Chapitre II : Techniques de déminéralisation

II.1. Technique de déminéralisation	7
II.1.1. Par résines échangeuses d'ions	7
II.1.2. Par osmose inverse.....	7
II.1.3. Par distillation	7
II.2. Différentes applications des résines	7
II.3. Déminéralisation des eaux.....	8
II.3.1. Echangeurs d'ions	8
II.3.2. Définition	9
II.3.3. Description d'un échangeur d'ions	9
II.3.4. Structure des échangeurs d'ions.....	10
II.3.5. Différents types des échangeurs d'ions.....	11
II.3.5.1. Echangeurs de cations	11
II.3.5.2. Echangeurs d'anions	11

II.3.6. Régénération des échangeurs d'ions	12
II.3.6.1. Principe.....	12
II.3.7. Modes de régénération.....	13
II.4. Déminéralisation par échangeurs d'ions.....	14
II.5. Installation comportant une chaîne de finition	14
II.6. Principe de calcul d'une chaîne de déminéralisation.....	15
II.6.1. Contrôle du traitement	15
II.7. Conclusion	15

Chapitre III : Présentation de la centrale thermique d CAP-DJINET

III.1. Description générale sur les centrales thermiques	16
III.1.1. Transformation indirecte	16
III.1.2. Transformation directe	16
III.2. Présentation de la centrale de CAP-DJINET	17
III.3. Constitutions de la centrale thermique de CAP-DJINET.....	17
III.4. Fonctionnement principal de la centrale de CAP-DJINET	18
III.5. Conclusion	19

Chapitre IV : Présentation de la station de déminéralisation

IV.1. Principe de la station de déminéralisation	21
IV.2. Origine de l'eau brute	21
IV.3. Présentation de l'unité de déminéralisation	22
IV.3.1. Différents organes de l'installation	22
IV.3.1.1. Station de déminéralisation.....	22
IV.3.1.2. Système de régénération	22
IV.3.2. Caractéristique technique des équipements.....	23
IV.4. Description et fonctionnement du système	24
IV.4.1. Echange Cationique Fort	24
IV.4.2. Tour de Dégazage	25
IV.4.3. Echange Anionique Fort	25
IV.4.4. Echange à Lit Mélange	25
IV.5. Caractéristique de l'eau déminéralisée.....	26
IV.6. Régénération	27
IV.6.2. Installation de régénération	27
IV.6.2.1. Station de préparation d'acide chlorhydrique.....	27

IV.6.2.2. Station de dilution de la soude caustique	28
IV.7. Séquence de régénération des résine	28
IV.7.1. Etapes de régénération des résines cationiques	28
IV.7.2. Etapes de régénération des échangeurs anioniques	29
IV.7.3. Régénération de lit mélangé	30
IV.7.3.1. Etapes de régénération de filtre à lit mélangé.....	30
IV.8. Neutralisation	34
IV.9. Conclusion	35

Partie II : Expérimentale

Chapitre V : Expérimentation, résultats et interprétations

V.1. Prélèvement des échantillons d'eau	36
V.2. Matériel et laboratoire	37
V.3. Méthodes d'analyse	37
V.3.1. Résultats de l'analyses physico-chimique de l'eau avant et après déminéralisation. 38	
V.4. Interprétation des résultats.....	42
V.5. Contrôle des échangeurs ioniques en fonction du temps	48
V.6. Conclusion.....	50
Conclusion générale	51
Bibliographie	
Annexes	

Liste des figures

Figure I.1 : Les trois états de l'eau.....	4
Figure I.2 : Molécule d'eau.....	4
Figure II.3 : Station de déminéralisation.	8
Figure II.4 : Principe de production d'une eau déminéralisée par des échangeurs d'ions.	9
Figure II.5 : Principe de l'échange d'ions.	9
Figure II.6 : Echangeur d'ions.....	10
Figure II.7 : Principe de régénération d'un échangeur d'ions.....	12
Figure II.8 : Mode de régénération.....	13
Figure III.9 : Principales transformation d'énergie.	16
Figure III.10 : Schéma synoptique d'une tranche thermique	20
Figure IV.11 : Source de l'eau brute nappe souterraine.....	21
Figure IV.12 : Schéma simplifié d'échange cationique	24
Figure IV.13 : Schéma simplifiée d'échange anionique	25
Figure IV.14 : Schéma simplifié de filtre à lit mélangé.	26
Figure IV.15 : Système de dosage d'acide chlorhydrique.....	27
Figure IV.16 : Système dosage de la soude caustique.	28
Figure IV.17 : Etape n°1 de régénération des lit mélangé.....	30
Figure IV.18 : Etape n°2 de régénération des lit mélangé.....	31
Figure IV.19 : Etape n°3 de régénération des lit mélangé.....	31
Figure IV.20 : Etape n°6 de régénération des lit mélangé.....	32
Figure IV.21 : Etape n°7 de régénération des lit mélangé.....	33
Figure IV.22 : Étape n°8 de régénération des lit mélangé.....	33
Figure IV.23 : Etape n°9 de régénération des lit mélangé.....	34
Figure IV.24 : Schéma de neutralisation.	35
Figure V.25 : Évolution du PH en fonction du l'eau traitée.	42
Figure V.26 : Evolution de la température en fonction du l'eau traitée.	43
Figure V.27 : Évolution de la conductivité en fonction du l'eau traitée.	43
Figure V.29 : Évolution de la turbidité en fonction de l'eau traitée.....	44
Figure V.30 : Evolution de la dureté totale en fonction de l'eau traitée.	45
Figure V.31 : Évolution de l'alcalinité en fonction de l'eau traitée.....	46
Figure V.32 : Évolution de chlorure et les sulfates en fonction du l'eau traitée.....	46
Figure V.33 : Évolution de du fer, cuivre et de la silice en fonction de l'eau traitée.....	47

Figure V.34 : Évolution de phosphates, sodium et potassium en fonction de l'eau traitée. 48

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Proportions des différents réservoirs de l'hydrosphère.	2
Tableau I.2 : Caractéristiques des eaux souterraines et l'eau de surface.	3
Tableau I.3 : Substances présentes dans l'eau.....	6
Tableau IV.4 : Caractéristiques techniques des filtres.	23
Tableau IV.5 : Caractéristique de l'eau déminéralisée.	26
Tableau IV.6 : Étapes de régénération de l'échangeur cationique.	29
Tableau IV.7 : Etapes de régénération l'échangeur anionique.....	29
Tableau V.8 : Différents méthode d'analyse utilisée à la centrale.	37
Tableau V.9 : Résultats d'analyses physico-chimique de l'eau brute.....	38
Tableau V.10 : Résultats d'analyses physico-chimique après le passage de resine Cationique.	39
Tableau V.11 : Résultats d'analyses physico-chimique après le passage de resine anionique.	40
Tableau V.12 : Résultats d'analyses physico-chimique de l'eau déminéralisée.....	41
Tableau V.13 : Analyse physico-chimique de l'eau cationique et anionique en fonction du temps.	49

Liste d'abréviations

HP	Haute Pression
MP	Moyenne Pression
BP	Basse Pression
VC	Compresseur de vapeur
RO	Osmose inverse
ED	Electrodialyse
TH	Titre Hydrotimétrique
TAC	Titre Alcalimétrique Complet
TA	Titre Alcalimétrique
TAF	Titre d'Acides Fortes
°F	Degré français
Cf	Cation moyennement ou faiblement acide
CF	Cation Fortement acide
Af	Anion moyennement ou faiblement basique
AF	Anion Fortement basique
LM	Lits Mélangés
NTU	unité en turbidité de néphélogétries
μS/cm	micro semence
ms/cm	milli semence
nm	nano mètre
Ps	point de saturation
Cd	conductivité
Cst	centistokes

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Une centrale électrique est un site industriel qui produit de l'électricité en grande quantité, elle transforme des sources d'énergie naturelle en énergie électrique, afin d'alimenter les consommateurs en électricité.

Dans la centrale électrique de CAP-DJINET la production d'énergie électrique est produite en transformant l'énergie calorifique d'un combustible en énergie mécanique qui à son tour est transformée en énergie électrique.

L'élément central de cette transformation est l'eau, portée à haute pression et à haute température, qui cède son énergie au groupe turbo-alternateur producteur de l'électricité.

Malheureusement, l'eau qui se trouve dans la nature n'est pas disponible pour une utilisation directe, vu qu'elle contient beaucoup d'impuretés et des substances toxiques dues à la pollution, dans l'industrie l'eau non traitée provoque l'entartrage et la corrosion sur les équipements de production, ce qui entraîne la détérioration des équipements.

Il existe plusieurs procédés de traitement des eaux, parmi ces derniers on distingue la déminéralisation des eaux brutes par la technique d'échange ionique, ce qui supprime les sels dissouts pour éviter les risques de corrosion et d'entartrages des différentes canalisations et circuit de fonctionnement pour raisons industrielles. Cette dernière consiste à faire passer l'eau brute à travers un filtre de résine d'échange ionique : cationique forte, anionique forte et un filtre à lit mélangé pour traitement de finition. Avec le temps la capacité de cette résine diminue, par conséquent le cycle de vie de la résine diminue d'où la nécessité de faire une régénération de de cette résine, notre tâche dans cette étude consiste en trois étapes :

- ❖ Dans la première partie, nous avons étudié la nouvelle installation de déminéralisation de l'eau brute par échange d'ions au niveau de la centrale thermique de CAP-DJINET.
- ❖ La deuxième partie est consacrée un premier temps à la présentation des protocoles expérimentaux, ensuite nous avons effectué les analyses physio- chimiques de l'eau de puits avant et après le procédé, et avons présenté les résultats obtenues pour le contrôle de l'efficacité de traitement de l'eau.
- ❖ Dans la troisième étape et la dernière, nous avons clôturé notre mémoire par une conclusion générale.

Partie Bibliographique

Chapitre I

Généralité sur les eaux brutes

L'eau est de toutes les matières la plus importante pour l'existence de l'homme. Elle est indispensable pour la survie et pour le développement de la société moderne. Parmi les principaux modes d'utilisation :

- ❖ Alimentation en eau potable.
- ❖ Alimentation en eau industrielle.
- ❖ L'exploitation de centrales hydro-électriques.

I.1. Généralités sur les eaux brutes

L'eau, l'élément vital, représente un constituant majeur de la matière. Sa teneur dépasse généralement les 70%.

L'eau naturelle est répartie dans cinq réservoirs inter collectés dont l'ensemble forme l'hypothèse : les océans représentent 97.5% de la masse totale de l'hydrosphère [1].

Tableau I.1 : Proportions des différents réservoirs de l'hydrosphère.

Réservoirs	Volume ($\times 10^{15} \text{ m}^3$)	Proportion (%)
Océan	1350	97.5
Calottes glaciaires	9,50	1.80
Eaux souterraines	8,15	0.60
Lacs et fleuves	0.20	0.02
Vapeur d'eau atmosphérique	0.01	0.001
Totale	1384	100

I.2. Différentes eaux naturelles [2]

L'eau liquide qui se forme par condensation en altitude est relativement pure et avant d'atteindre le sol, dissout des gaz et absorbe des composés solubles et insolubles présents dans l'air. Les eaux naturelles peuvent être classées en quatre catégories :

- Les eaux de pluie.
- Les eaux de surface : cours d'eau, mares, lacs et réservoirs de surface.
- Les eaux souterraines : venant des sources, des puits peu profonds, des puits profonds des nappes souterraines.
- L'eau de mer : qui constitue la majeure partie des réserves d'eau du globe.

I.3. Propriétés des eaux souterraines [3]

La nature géologique du sol détermine la composition chimique des eaux souterraines. L'eau est constamment en contact avec la terre sur laquelle elle stagne ou circule, ainsi l'équilibre se développe entre la composition du sol et celle de l'eau: c.-à-d. une eau qui circule dans un substratum sableux ou granitique est acide et possède quelques minerais. Une eau qui circule dans les calcaires contient l'alcalinité des bicarbonates.

Le tableau suivant est un comparatif entre les caractéristiques de l'eau de surface et celles de l'eau souterraine :

Tableau I.2 : Caractéristiques des eaux souterraines et l'eau de surface.

Caractéristique	Eau de surface	Eau souterraine
Température	Variable suivant les saisons.	Relativement constante.
Turbidité	Niveaux variables, parfois élevé.	Faible ou nul (excepté dans les sols calcaires).
Les minéraux	Varie avec les sols, les précipitations, les effluents, ets.	Constante, généralement plus élevés que pour l'eau de surface
CO₂ Agressif	Souvent nul.	Souvent présent.
O₂ dissout	Absent dans l'eau très polluée.	Souvent nul.
Nitrates	Niveau généralement faible.	Niveau parfait élevé.
Silice	Proportions modères.	Niveau souvent élevé.
Organismes vivants	Bactéries, virus, plancton.	Bactéries de fer généralement.

I.4. Principales caractéristiques des eaux souterraines [3]

- **Faible turbidité** : parce qu'elles bénéficient d'une filtration naturelle dans les différentes formations du sol qu'elles ont traversées.
- **Température constante** : parce qu'elles sont à l'abri du rayonnement solaire et de l'atmosphère.
- **Indice de couleur faible** : il n'est pas en contact avec les substances végétales (source de couleur).
- **Dureté souvent élevée** : les eaux souterraines peuvent être en contact avec les formations rocheuses contenant les métaux bivalents tels que (Mg²⁺, Ca²⁺etc.) les responsables éléments de la dureté.
- **Concentration élevés du fer et de manganèse**

I.5. Trois états de l'eau [2]

L'eau est présente sur Terre sous toutes ses formes physiques (liquide, solide et gaz). Elle est répartie dans trois réservoirs (océans, continents et atmosphère) dont l'ensemble constitue l'hydrosphère, L'eau occupe une place importante sur le globe terrestre, elle se trouve sous forme :

- ✓ **Forme liquide** : les eaux souterraines, les eaux de surface.
- ✓ **Forme solide** : les glaces polaires.
- ✓ **Forme gazeuse** : les eaux atmosphériques.

Dans la nature, l'eau passe d'un état à l'autre en fonction de la température.

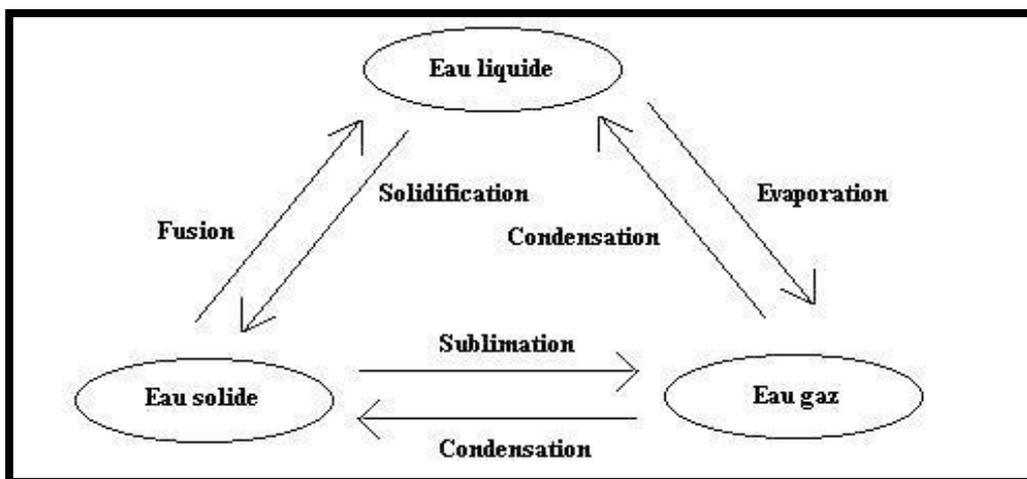


Figure I.1 : Les trois états de l'eau.

I.6. Propriétés physico-chimiques de l'eau

L'eau est un composé chimique qui résulte de la combinaison de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène pour former la molécule H_2O .

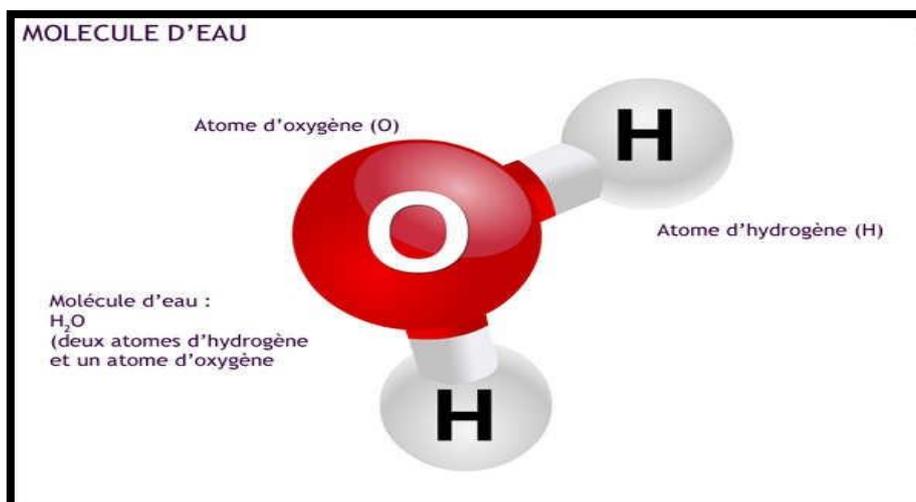


Figure I.2 : Molécule d'eau.

C'est cette composition de l'eau qui est à l'origine de ses propriétés spécifiques dont les principales sont les suivantes :

- ✓ L'eau est un liquide transparent inodore.
- ✓ Sa masse molaire = 18 g/mole soit 55 moles H₂O/l.
- ✓ Sa masse volumique est de 1000 Kg / m³ à 4 °C.
- ✓ Viscosité = 1 Cst.
- ✓ C'est le meilleur des solvants.
- ✓ Elle dissout les gaz et les sels minéraux et contient à l'état liquide des organismes vivants.
- ✓ Il faut fournir 537 °K pour vaporiser 1 Kg d'eau à 100 °C.

I.7. Cycle de l'eau

La quantité totale d'eau sur la planète est constante depuis 4,4 milliards d'années quand l'eau touche le sol :

- 50 % s'évapore immédiatement et reforme le brouillard et les nuages.
- 25 % s'infiltré dans le sous-sol pour donner naissance aux rivières et aux nappes souterraines.
- 25 % ruisselle à la surface du sol sans y pénétrer et alimente les cours d'eau et les lacs.

I.8. Constituées des eaux brute

I.8.1. Solides en suspension [4]

Leur nature peut être :

- **minérale** : C'est le cas des sables, limons et argiles.
- **biologiques** : C'est le cas des bactéries et des produits organiques.

Une classification très succincte des éléments dans l'eau permet d'établir le tableau ci-dessous (tableau I.3).

Tableau I.3 : Substances présentes dans l'eau.

Etat des éléments	Nature des éléments
Matière en suspension	Sable, argile boues diverse, roches en débris, matière organique, minérale et végétale.
Matière en émulsion	Matières organique colloïdales, huile minérale, argile colloïdales.
Matières organiques solubilisées	Déchet végétaux, matière azotées, produits de synthèse, organique soluble, etc.
Sels minéraux	Carbonates bicarbonates, sulfates, calcium, magnésium, sodium, etc....
Microorganisme vivants	Champignons, vers, bactérie, virus, etc..
Gaz	Oxygène, azote, gaz carbonique ammoniac

I.8.2. Solides dissous (sels)

Les solides dissous les plus couramment rencontrés sont des :

- Bicarbonates,
- Chlorure,
- Sulfate,
- Silicate,

On trouve également des :

- Fluorures F,
- Nitrates NO₃,
- Nitrites NO₂,
- Les gaz dissous,
- Le gaz sulfurique H₂SO₄ ou hydrogène sulfuré.

I.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné une description générale sur les eaux brutes, les propriétés physico-chimique et la constitution de ses eaux.

Dans le chapitre suivant, on va s'intéresser au procédé de déminéralisation des eaux brutes par la méthode d'échange d'ions.

Chapitre II

Techniques de déminéralisation

La déminéralisation par échange d'ions est très répandue dans les industries chimiques, pétrochimiques, le raffinage pétrolier, etc... En fonction de leurs sites fonctionnels, les échangeurs d'ions sont capables d'adsorber sélectivement des ions spécifiques même lorsque ceux-ci ne sont présents qu'en quantité infimes.

Dans ce chapitre, on introduit la description générale de la technique de déminéralisation par échange d'ions et son principe de fonctionnement.

II.1. Technique de déminéralisation

Procédé de traitement destiné à éliminer tous les sels dissous, La déminéralisation de l'eau peut être obtenue principalement par trois techniques :

1. Résine échangeuse d'ions.
2. Osmose inverse (RO).
3. Distillation.

II.1.1. Par résines échangeuses d'ions [12]

Ce procédé est limité à des eaux relativement de faible salinité, jusqu'à **2g** par litre environ, et présente l'inconvénient d'utiliser des produits chimiques corrosifs: acide et soude, par contre il peut produire des eaux très pures.

II.1.2. Par osmose inverse

Ce procédé est applicable sur de grandes variétés de salinité (jusqu'à l'eau de mer), et dans une très large Game de débit, de quelques **l / h** à plusieurs centaines de **m³ / h**.

II.1.3. Par distillation

Réservée soit à des applications de laboratoires, soit industrielle à partir d'eau de mer dans des bouilleurs-évaporateurs sous vide en cascades.

II.2. Différentes applications des résines

Les résines échangeuses d'ions sont utilisés pour :

- La production d'eau de procès (eau déminéralisée, eau adoucie, eau décarbonatée).
- La production d'eau potable.
- le traitement d'eaux résiduaires (industrie chimique, alimentaire et pharmaceutique).

Il existe différents procédés:

- Adoucissement.
- Décarbonatation.
- Déminéralisation.

II.3. Déminéralisation des eaux



Figure II.3 : Station de déminéralisation.

La déminéralisation est l'une des techniques très largement utilisées pour l'obtention de l'eau pure à partir d'une eau caractérisée par leurs concentrations en sels dissous (eau brute). Donc, c'est un procédé d'épuration de l'eau destiné à éliminer partiellement ou totalement les sels qui y sont dissous. Elle s'effectue en particulier par échange d'ions.

L'épuration par échange d'ions consiste à fixer les ions en liberté sur des corps doués de propriétés particulières que l'on appelle « échangeurs d'ions » d'où le nom permutation donné à ce procédé. Ce dernier permet d'obtenir des eaux de très haute pureté chimique caractérisées par leur très faible conductivité [5].

II.3.1. Echangeurs d'ions [6]

Les résines échangeuses d'ions sont caractérisées par leur affinité vis-à-vis des cations ou des anions. L'association des résines dites cationiques et anioniques dans un même chaînage, permet d'obtenir de l'eau déminéralisée (figure II.4):

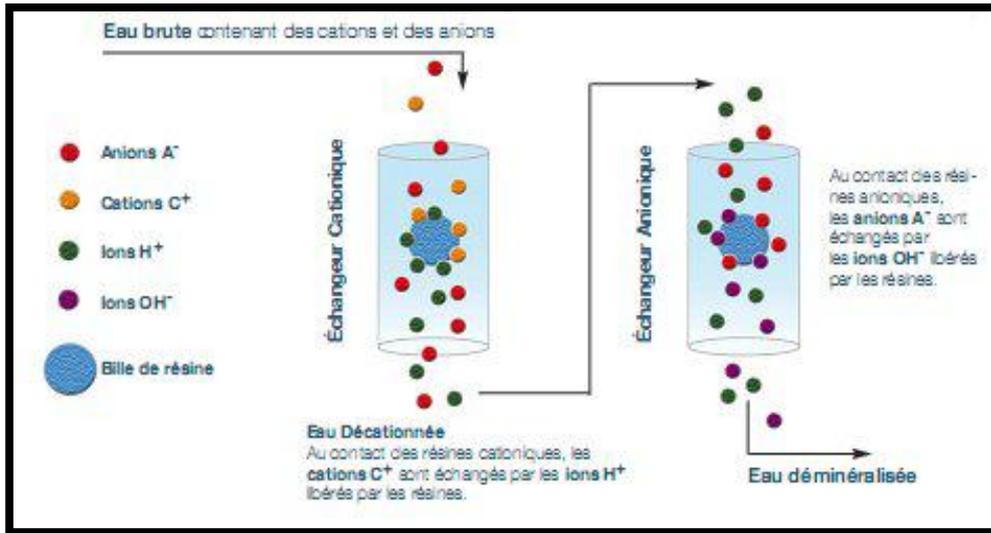


Figure II.4 : Principe de production d'une eau déminéralisée par des échangeurs d'ions.

II.3.2. Définition [7]

Les échangeurs d'ions sont des substances granulaires insolubles, comportant dans leur structure moléculaire des radicaux acides ou basiques susceptibles de permuter, sans modification dans leur aspect physique et sans altération ou solubilisation, les ions positifs ou négatifs fixés sur les radicaux contre des ions de même signe se trouvant en solution dans le liquide à leurs contact.

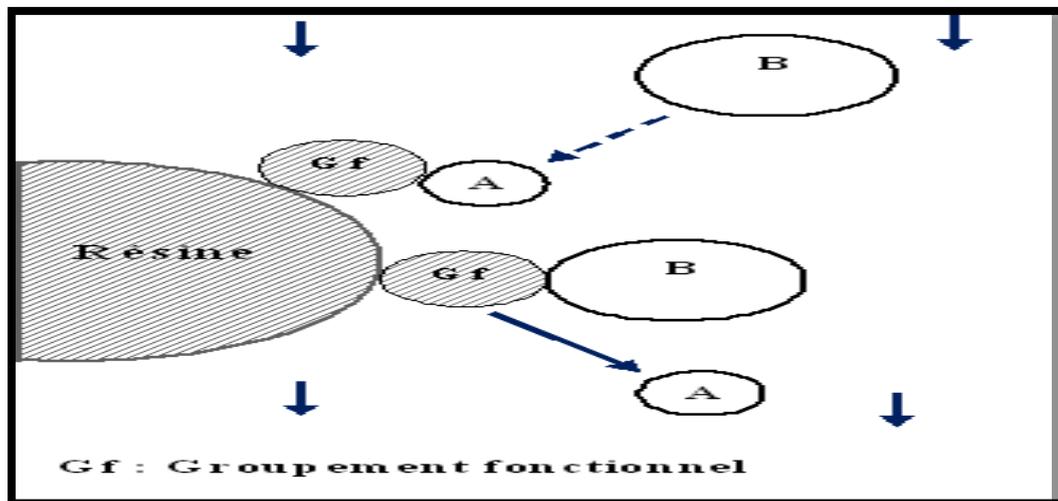


Figure II.5 : Principe de l'échange d'ions.

II.3.3. Description d'un échangeur d'ions

Un échangeur est constitué d'un réservoir cylindrique vertical construit en tôle ordinaire fermé à ses extrémités par 2 fonds bombés. Un revêtement de peinture de protection réalisé

intérieurement évite la corrosion du fer par l'oxygène contenu dans l'eau. Ce bidon est aménagé comme suit (figure II.6) :

- Un jeu de vannes permet les opérations ci-après :
 - L'alimentation en eau à traiter.
 - L'injection des produits de régénération.
 - L'évacuation d'air contenu dans la partie supérieure du réservoir.
- Un réseau de crépines qui permet la répartition uniforme de l'eau à traiter ou des produits de régénération sont placés à la partie supérieure du réservoir.
- Un second réseau de crépines placé à la partie inférieure du réservoir collectant l'eau traitée et les effluents de régénération.
- Une couche de sable de **30 cm** d'épaisseur environ et de forte granulométrie empêche le passage des résines au travers des crépines inférieures.
- Un lit de résine échangeuse d'ions d'une hauteur sensiblement égale au diamètre de l'échangeur est constitué par des grains généralement sphériques d'un diamètre variant de **0,3 à 1,5 mm**

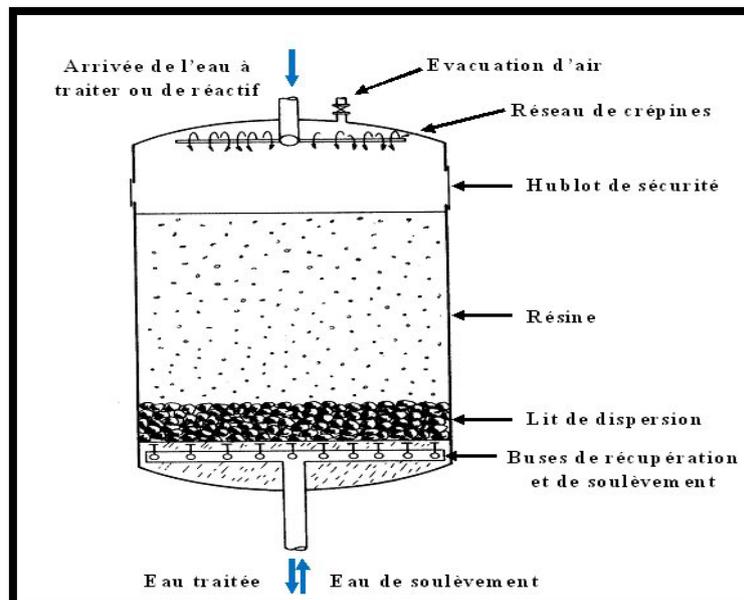


Figure II.6 : Echangeur d'ions.

II.3.4. Structure des échangeurs d'ions [9]

La matrice solide est généralement un composé de type copolymère réticulé, en général à base de polystyrène ou de polyacrylate, mis en œuvre sous forme de billes de diamètre compris entre **0,3** et **1,3 mm**. Elle est insoluble dans l'eau; sa structure contient des ions et sa porosité doit être suffisante pour permettre la diffusion des ions dans sa masse.

Il existe deux types de matrice :

- Les résines de type gel.
- Les résines macroporeuses.

II.3.5. Différents types des échangeurs d'ions

Les échangeurs d'ions ont d'abord été des terres naturelles (zéolites), puis des composés synthétiques minéraux et organiques, ces derniers étant presque exclusivement employés actuellement sous le nom de résines. Ce terme a été généralisé à tort pour désigner l'ensemble des échangeurs. Ils se présentent soit sous forme de grains, soit, pour la majorité d'entre eux, sous forme de billes, [7].

Les échangeurs d'ions utilisés en traitement des eaux sont presque toujours des résines sur lesquelles sont greffés des groupements fonctionnels d'un seul type. On distingue ainsi [8]

- Les échangeurs de cations.
- Les échangeurs d'anions.

Pour les résines cationiques, un contre ion X^+ est toujours présent dans l'eau d'hydratation de la résine et c'est lui qui sera échangé avec un cation de la solution suivant la réaction, [9]



Pour les résines anioniques, un contre ion X^- est toujours présent dans l'eau d'hydratation de la résine et c'est lui qui sera échangé avec un anion de la solution suivant la réaction, [9]



II.3.5.1. Echangeurs de cations [5]

Ces résines ont pour groupements fonctionnels des radicaux acides, fortement acide pour les uns, et faiblement acide pour les autres.

- Les résines fortement acides (**FA**) : obtenues par greffage des radicaux sulfoniques, fixent la totalité des cations en solution.
- Les résines faiblement acides (**fA**) : obtenues par greffage de radicaux carboxyliques, fixent de préférence les cations de valence multiple.

II.3.5.2. Echangeurs d'anions [6]

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

Les résines fortement basiques (**FB**): obtenues par greffage d'ammonium quaternaire, neutralisent tous les anions même d'acide faible (silice) et transforment les sels neutres en bases correspondantes.

Les résines faiblement basiques (**FB**) : obtenues par greffage d'amines primaires, secondaires ou tertiaires, neutralisent les acides forts mais pas les sels neutres et les acides faibles.

Les résines anioniques fortement basiques (**FB**) sont généralement constituées par des polystyrènes [10].

II.3.6. Régénération des échangeurs d'ions [10]

Lorsque la résine est saturée, donc en équilibre avec la solution entrante, il est possible de la régénérer, c'est-à-dire d'effectuer la réaction inverse de celle d'échange au moyen d'une solution concentrée en contre ion d'origine. Cette étape, d'une durée de **15 à 60 min**, peut se réaliser dans le même sens que la régénération (à co-courant) ou en sens inverse (à contre-courant). La régénération à contre-courant nécessite un volume de solution régénérant nettement inférieur à celui requis pour une régénération à co-courant.

II.3.6.1. Principe

La régénération consiste à faire traverser la résine par une solution très concentrée en réactifs de manière à inverser la réaction. Cette opération doit être suivie d'un rinçage destiné à éliminer la solution régénérant imprégnant le lit de résine [5].

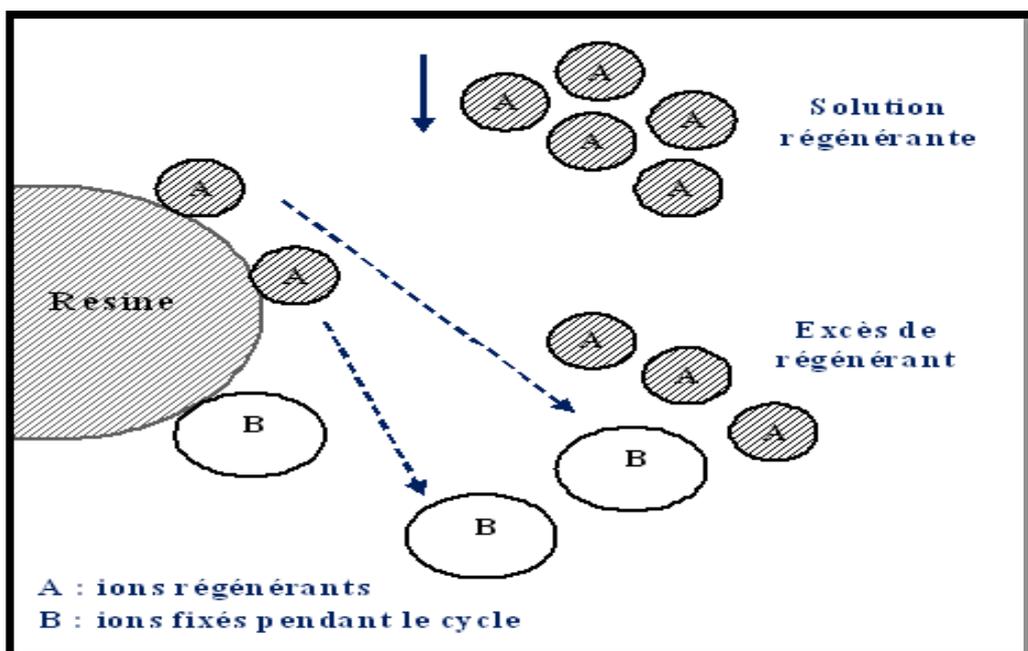


Figure II.7 : Principe de régénération d'un échangeur d'ions.

II.3.7. Modes de régénération [8]

Il existe deux modes de régénération :

a) Régénération à co-courant

Dans ce mode de régénération, le flux de régénérant est dirigé au travers du lit de résine dans le même sens que l'eau en cycle de production, c'est-à-dire de haut en bas dans les procédés classiques. Ce mode de régénération a l'avantage de ne pas exiger un dispositif élaboré de réparations haute des flux puisque le courant de régénérant est automatiquement réparti de façon quasi uniforme par les couches hautes du lit de résine.

b) Régénération à contre-courant

Dans ce mode de régénération, le régénérant circule à contre-courant par rapport à l'eau traitée en cours de cycle. Pour les échangeurs d'ions classiques traitant l'eau en cours de cycle de haut en bas, l'écoulement du régénérant s'effectue de bas en haut.

Ce mode présente, par rapport à la régénération co-courant, de très nombreux avantages :

- La solution régénérant s'attaque en premier lieu aux couches basses de résine très peu saturées qui sont donc très facilement débarrassées des quelques ions indésirables qu'elles contenaient en fin de cycle.
- La solution régénérant ne s'appauvrit que lentement en ions régénérants et ne s'enrichit que progressivement en ions à éliminer.

La régénération à contre-courant permet donc d'obtenir :

- Un meilleur rendement de régénération.
- Des couches basses très bien régénérées, donc une fuite ionique permanente réduite

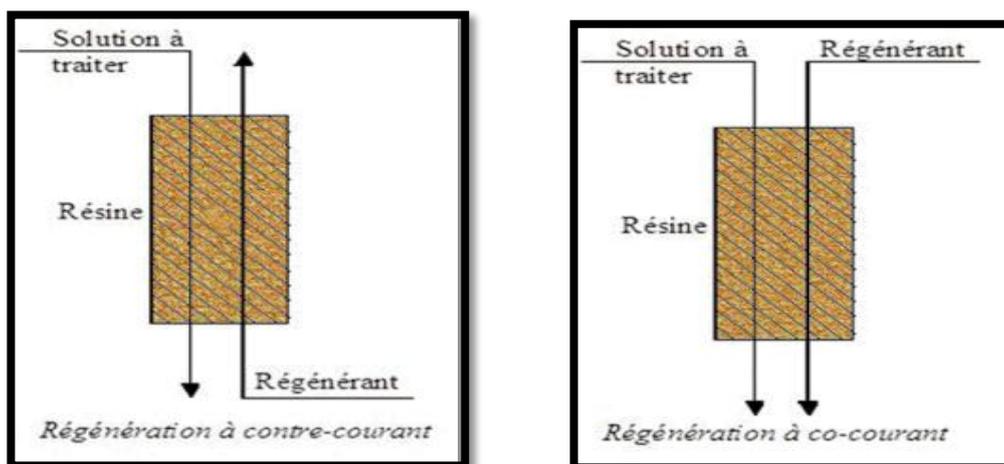


Figure II.8 : Mode de régénération.

II.4. Déminéralisation par échangeurs d'ions

La déminéralisation est l'élimination des sels minéraux présents dans une eau (généralement eau saumâtre ou eau de mer) afin de rendre en vue d'un usage destiné à l'alimentation en eau potable de la population ou pour assurer la fourniture de l'eau des chaudières, des cycles de refroidissements...etc.

La déminéralisation par échangeur d'ions fait l'objet d'un certain nombre de variantes basées essentiellement sur les paramètres suivants :

- Qualité d'eau à obtenir,
- Composition de l'eau à traiter,
- Consommation de réactifs de régénération.

D'autres considérations (investissement, implantation...) peuvent également avoir une influence sur la composition de la chaîne, [11].

La description donnée ci-après des groupements d'échangeurs les plus fréquents, utilise la notation, [10]:

- **Cf** : cation faiblement acide.
- **CF** : cation fortement acide.
- **Af** : anion moyennement ou faiblement basique.
- **AF** : anion fortement basique.
- **|CO₂|**: élimination de CO₂.
- **LM** : lits mélangés.

II.5. Installation comportant une chaîne de finition [10]

La qualité de l'eau sortant d'une chaîne primaire quelle que soit sa composition, est déterminée par la fuite ionique de l'échangeur de cations. Cette fuite ionique, variable suivant les caractéristiques de l'eau brute et le taux de régénération, ne permet pas d'obtenir une qualité suffisante pour certains emplois de l'eau déminéralisée, tels que l'alimentation des chaudières à très haute pression et certaines applications dans les industries chimiques, nucléaires ou électroniques. Il faut donc traiter à nouveau sur une chaîne dite de finition.

La fuite ionique de l'échangeur de cations est transformée en basse libre sur l'échangeur d'anions avec pour conséquence une fuite en silice de celui-ci. Par conséquence, une chaîne de finition doit nécessairement comporter un échangeur de cations fortement acide et un échangeur d'anions fortement basique.

Elle peut se présenter sous forme de deux colonnes en série, la régénération se fait dans le sens **AF₂-AF₁** et **CF₂-CF₁**. Dans ces conditions, les échangeurs de finition sont

parfaitement régénérés et la qualité de l'eau déminéralisée est excellente (conductivité inférieur à **1 $\mu\text{S/cm}$** , teneur en silice comprise entre **5 et 20 $\mu\text{g/l}$**)

Cependant, ce système est de moins en moins utilisé. On lui préfère les échangeurs à lits mélangés qui permettent d'atteindre une conductivité de l'ordre de **0,05 $\mu\text{S/cm}$** à **25 °C** et des fuites en silice nettement inférieures à **10 $\mu\text{g/l}$**

II.6. Principe de calcul d'une chaîne de déminéralisation [10]

Les éléments suivants sont nécessaires au calcul :

- Titre **TAC** de l'eau brute en °F.
- Titre **TAF** de l'eau brute en °F.
- Teneur en silice **TSiO₂**.
- Teneur en acide carbonique de l'eau après passage sur cation et éventuellement élimination d'acide carbonique, **TCO₂**.
- Volume d'eau à fournir entre régénération, en **m³**, y compris éventuellement les eaux de service.
- Débit horaire **Q** en **m³**.
- Pouvoir d'échange **C** des résines exprimé en degrés-litres/litre de résine tassée.

II.6.1. Contrôle du traitement

Les contrôles à effectuer sur un poste de déminéralisation comportent essentiellement les mesures suivantes :

- Conductivité (ou résistivité),
- Concentration en silice,
- Eventuellement dureté,
- pH,

La fiabilité maximale est obtenue par des contrôles continus automatiques, en particulier pour la conductivité, la silice, et le pH.

II.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes techniques de déminéralisation, puis nous avons défini la déminéralisation par échange d'ions et les domaines d'applications.

Dans le chapitre suivant, on va présenter la centrale thermique de CAP-DJINET, sa constitution et le principe de fonctionnement.

Chapitre III

Présentation de la centrale thermique de CAP-DJINET

Dans ce troisième chapitre, on va présenter brièvement la centrale électrique de CAP-DJINET, ainsi que son principe de fonctionnement.

III.1. Description générale sur les centrales thermiques [14]

Dans les centrales thermiques, l'énergie provient de la transformation en énergie mécanique de l'énergie calorifique produite par une combustion (voir figure III.9).

Le combustible peut être solide : tourbe, lignite, charbon de bonne qualité ou déchets de charbon, on utilise également des combustibles liquides, fuel-oil (mazout), gas-oil, et gazeux : gaz de haut fourneau et gaz naturel.

La transformation en énergie mécanique peut se faire de deux façons différentes :

III.1.1. Transformation indirecte

La chaleur dégagée par la combustion est utilisée pour chauffer de l'eau et finalement pour la transformer en vapeur à haute température et haute pression.

La détente de la vapeur dans les aubages d'une turbine à vapeur produit un couple moteur que l'on utilise pour faire tourner un alternateur. L'usine comporte donc le foyer ou la chambre de combustion, autrement dit la où se transforme l'eau liquide en vapeur.

III.1.2. Transformation directe

La détente des gaz se fait dans les aubages de la turbine à vapeur fournit un couple moteur utilisé pour actionner un alternateur.

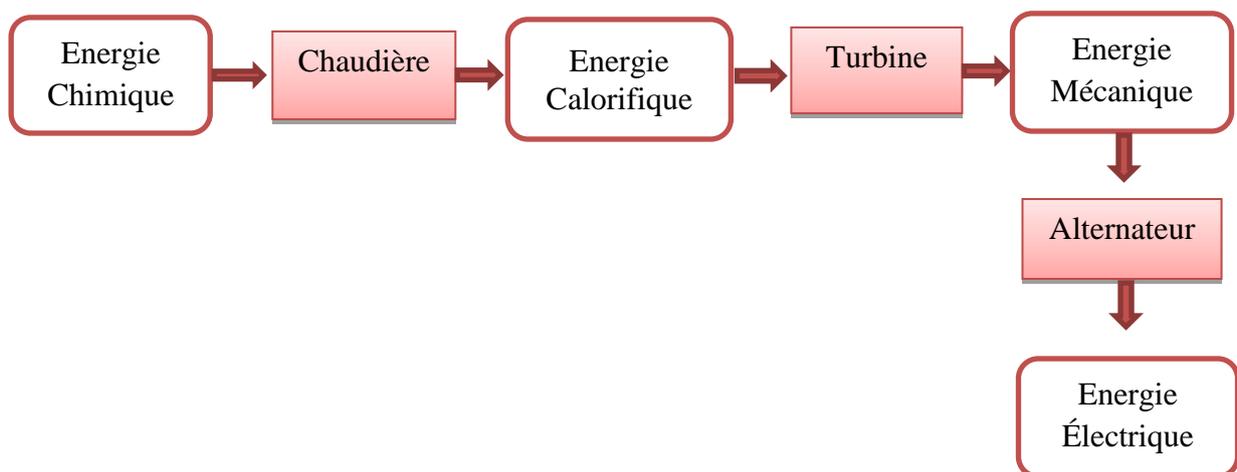


Figure III.9 : Principales transformation d'énergie [14].

III.2. Présentation de la centrale de CAP-DJINET [13]

C'est une centrale thermique à vapeur qui utilise l'eau comme caloporteur d'énergie à haute température et sous pression.

La centrale de CAP-DJINET se situe au bord de la mer, à 80 km à l'est d'Alger. Elle est installée sur une superficie de 35 hectares à CAP-DJINET, wilaya de BOUMERDES.

Le choix de ce site s'est fait sur la base des critères suivants :

- ✓ Proximité de la mer (quantité d'eau suffisant pour les besoins).
- ✓ Possibilité d'extension future.
- ✓ Condition sous-sol favorable, ne nécessitant pas de fondation profonde.
- ✓ Proximité des consommateurs importants (zone industrielle de ROUIBA et REGHAIA).

Elle comprend 4 groupes de 176 MW chacun, soit une puissance électrique totale de 704 MW. La puissance fournie au réseau est de 672 MW, le reste (environ 32MW) est consommé par les auxiliaires.

Cette centrale est construite entre des années 1980 à 1986, en vue de renforcer l'alimentation en énergie électrique du pays. La première tranche d'énergie fournie au réseau de distribution a été effectuée le 17 juin 1986.

La mise en service des groupes s'est effectuée comme suit :

- Groupe1 : couplage sur le réseau le 17/06/1986.
- Groupe2 : couplage sur le réseau le 17/09/1986.
- Groupe3 : couplage sur le réseau le 29/11/1986.
- Groupe4 : couplage sur le réseau le 21/02/1987.

III.3. Constitutions de la centrale thermique de CAP-DJINET [13]

- Générateur de vapeur (chaudière).
- Turbine à vapeur.
- Condenseur.
- Alternateur.
- Auxiliaires électrique.
- Salle de commande centralisée.
- Transformateur principal d'évacuation de l'énergie.

- Dessalement de l'eau de mer.

Ces 4 tranches de productions ont une installation commune :

- Station de pompage d'eau de mer.
- Poste de détente gaz naturel.
- Poste de fuel.
- Station de dessalement et de déminéralisation de l'eau de mer.
- Station d'électro chloration.
- Salle des compresseurs d'air comprimé de travail et de régulation.

III.4. Fonctionnement principal de la centrale de CAP-DJINET [13]

Les pompes d'extraction aspirent le condensat à partir de condenseur à pression de 0.05 bar et une température de 33°C, elle refoule l'eau vers les réchauffeurs BP1, BP2, BP3, ou l'augmentation de la température s'effectue comme ceci :

- 52°C : à la sortie de réchauffeur BP1.
- 84°C : à la sortie de réchauffeur BP2.
- 113°C : à la sortie de réchauffeur BP3.

L'eau est pris à la bache alimentaire ou passe le dégaze, sa température est de 152°C et sa pression est de 170 bars.

L'eau de la bache alimentaire est aspirée par les pompes alimentaires ou elles l'envoient vers les réchauffeurs HP1 et HP2 ou on constate que la température comme ceci :

- 200°C à la sortie de réchauffeur HP1.
- 246°C à la sortie de réchauffeur HP2.

L'eau chaude compromise arrive au ballon chaudière, elles les parois tubulaires tapissent la chambre de combustion ou elle se ramène jusqu'à la température d'ébullition et même jusqu'à la température de vaporisation (figure III.10).

La moitié supérieure du ballon chaudière contient de la vapeur saturée celle-ci est dirigée sur les trois surchauffeurs, ou elle va augmenter de température jusqu'à 540°C, en cas d'une température plus élevée que cette dernière, il y a le déclenchement des désurchauffeurs afin de la diminuer jusqu'à 540°C, la pression reste presque constante (170bar).

La vapeur de la surchauffeur arrive au corps HP de la turbine ou elle se détend jusqu'à 40 bar et sa température diminue jusqu'à 375°C, puis elle retourne vers les resurchauffeurs qui se trouvent dans la chaudière ou elle se réchauffe pour atteindre les 544°C, ensuite elle entre dans

le corps MP de la turbine qui continue jusqu' au corps BP, en passant par ces trois corps, elle fournit le travail moteur.

Le dernier circuit et le condenseur dans lequel s'effectue la condensation de la vapeur à vide a une pression 0,05 bar et à la température de 33 °C. L'eau recueillie est froide, elle commence son cycle de nouveau.

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la centrale thermique de CAP-DJINET brièvement, ainsi que la composition de ces tranches de la production et le principe de fonctionnement de cette dernière.

Dans le chapitre suivant, on va s'intéresser à la présentation de la nouvelle station de déminéralisation qui est très importante à la centrale thermique.

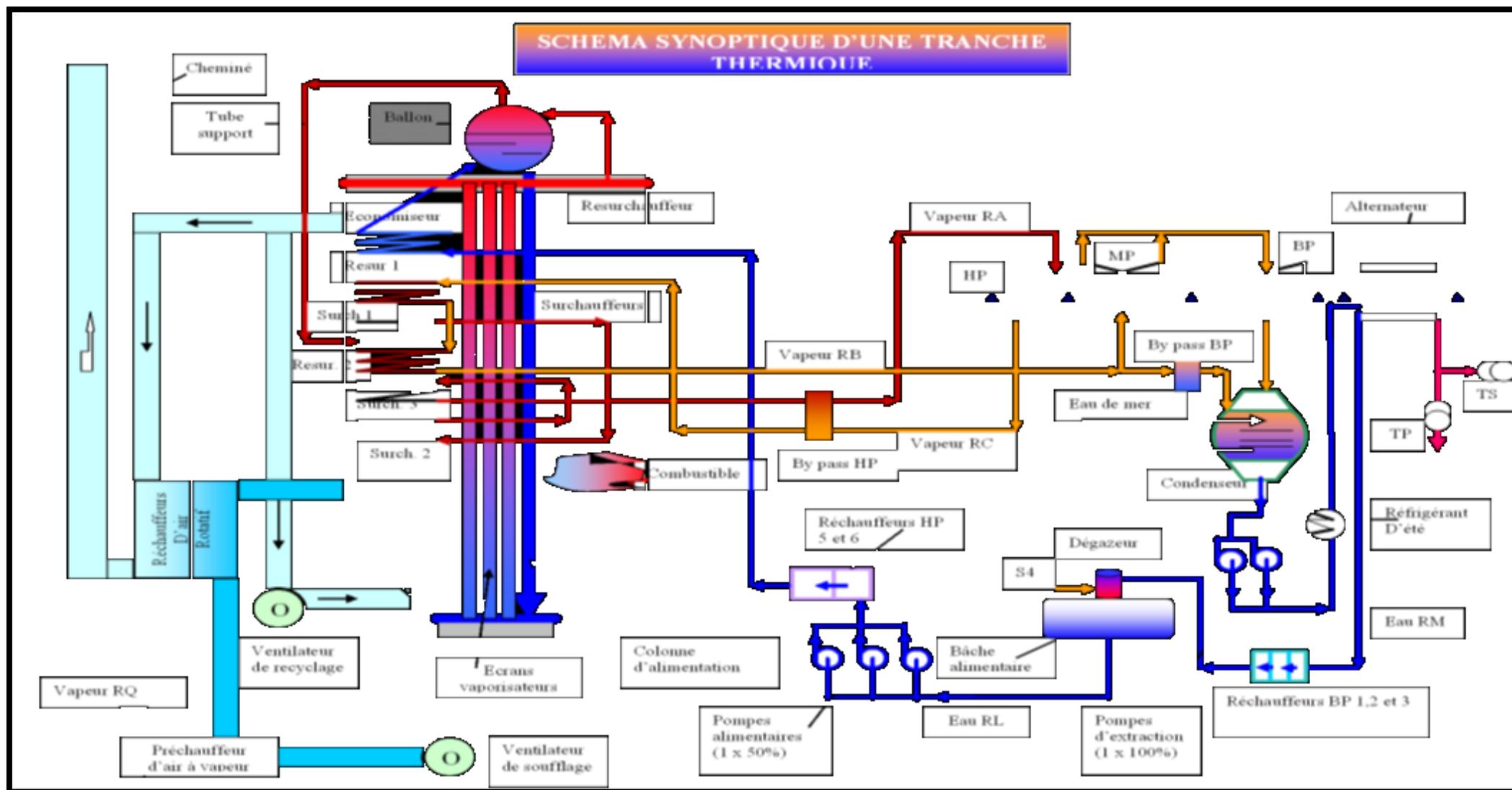


Figure III.10 : Schéma synoptique d'une tranche thermique.

Partie Expérimentale

Chapitre IV

Présentation de la station de déminéralisation

Dans ce chapitre, la station de déminéralisation des eaux brutes par échange d'ions sera présentée, ainsi que les étapes de régénération. Enfin, il y a lieu de citer les différents organes qui composent la station de déminéralisation.

IV.1. Principe de la station de déminéralisation

le principe de la station est basé sur la technique de déminéralisation des eaux brute par échange d'ion, qui consiste à éliminer notamment la silice , les chlorures et les sulfates (les minéraux en générale) qui subsistent après traitement préliminaire et à abaisser la conductivité de l'eau, La centrale thermique de CAP-DJINET utilise le procédé de déminéralisation par échange d'ions qui permet d'obtenir une eau d'une très grande pureté.

L'installation de déminéralisation sert au traitement de l'eau d'appoint d'alimentation pour les quatre chaudières (voir annexe D).

IV.2. Origine de l'eau brute

La source de l'eau brute : est une nappe souterraine, elle est exploitée à l'aide d'une pompe immergée à **11 m** de profondeur, avec un débit de **30 m³/h**, cette eau est stockée dans un réservoir, avec une capacité de **2700 m³**, L'eau brute est une eau souterraine, qui comporte les caractéristiques suivantes :

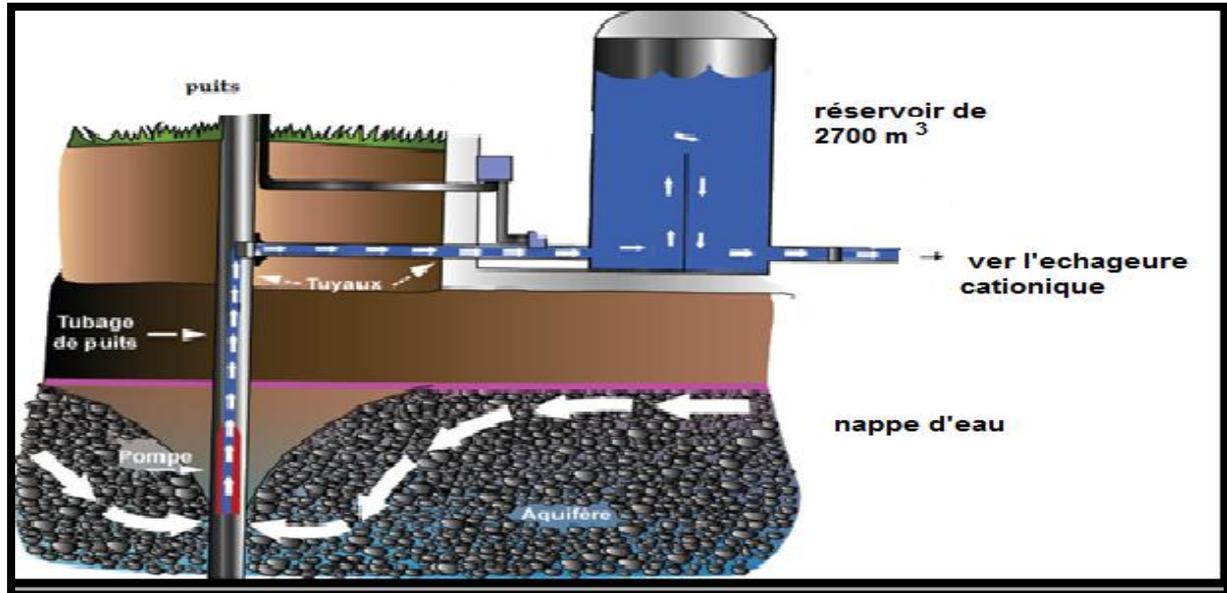


Figure IV.11 : Source de l'eau brute nappe souterraine.

- ✓ Une température ambiante.
- ✓ Absence presque totale d'oxygène.
- ✓ Absence des matières organiques.
- ✓ Une conductivité= 1300μS /cm.

IV.3. Présentation de l'unité de déminéralisation [15]

IV.3.1. Différents organes de l'installation

IV.3.1.1. Station de déminéralisation

L'installation de déminéralisation se compose des parties suivantes :

- Deux pompes d'eau brute.
- Trois unités cationiques.
- Un tour de dégazage.
- Trois pompes d'eau dégazée.
- Trois unités anioniques.
- Trois échangeurs à lit mélangé.
- Deux Soufflantes pour les échangeurs à lit mélangé
- Système chauffage de l'eau déminéralisée (pour NaOH).
- Système de régénération des résines.
- Système de nettoyage de résines.
- Appareils de mesure de débit, pression, conductivité.
- Une armoire de commande.

IV.3.1.2. Système de régénération

1. Système d'acide chlorhydrique (HCl 32%)

La section se compose des éléments suivants :

- pompe de chargement.
- Réservoir.
- Deux pompes de dosage de l'acide.
- Instrumentation.

2. Système de soude caustique (NaOH 35 à 40%)

La station se compose des éléments suivants :

- Pompes de chargement.
- Réservoir.
- Pompes de dosage soude.
- Instrumentation.

3. Système de Dilution

Le système de dilution réactif se compose des éléments suivants :

- Deux pompes de l'eau déminéralisée pour la régénération ;
- Système de chauffage eau déminéralisée pour la soude ;

- Système de dilution de soude caustique ;
- Système de dilution de l'acide chlorhydrique ;
- Instrumentation.

IV.3.2. Caractéristique technique des équipements [15]

Les caractéristiques techniques des équipements de la station de déminéralisation sont :

Tableau IV.4 : Caractéristiques techniques des filtres.

Echangeur cationique	
Nombre d'échangeur cationique	3
Débit de fonctionnement pour chaque filtre (m^3/h)	130
Volume de résine cationique (litre)	15000
Pression de service (bars)	6
Température de service ($^{\circ}\text{C}$)	40
Tour de dégazage	
Nombre de tour de dégazage	1
Débit de fonctionnement (m^3/h)	260
Diamètre (mm)	3000
Ventilateur	
Nombre de ventilateur	2
Puissance de ventilation (Nm^3/h)	8000
Hauteur (mm)	80
Pompes centrifuge	
Nombre des pompes	3
Débit (m^3/h)	130
Pression (bars)	4
Echangeur anionique	
Nombre d'échangeur anionique	3
Débit de fonctionnement pour chaque filtre (m^3/h)	130
Volume de résine anionique (litres)	20000
Pression de service (bars)	6
Température de service ($^{\circ}\text{C}$)	40
Echangeur à lits mélangés	
Nombre de filtre à lits mélangés	3
Débit de fonctionnements (m^3/h)	130
Volume de résine mélangée (litres)	5000
Pression de service (bars)	6
Soufflante	
Nombre de soufflante	2
La puissance d'aire (Nm^3/h)	200
Diamètre de soufflants (m)	5
Pompe centrifuges de régénération et dilution	
Nombre de pompe centrifuge	2
Débit de fonctionnement (m^3/h)	10
Pression (bars)	4
Réservoir de nettoyage de résine	
Volume (m^3)	40

Diamètre (mm)	30000
Réservoir de HCL	
Volume de réservoir (m ³)	50
Diamètre (mm)	30000
Pompe centrifuge HCL	
Nombre des pompes	2
Débit de fonctionnement (m ³ /h)	5
Pression (bars)	3
Réservoir de NaOH	
Volume de réservoir (m ³)	50
Diamètre (mm)	30000
Pompe centrifuge NaOH	
Nombre des pompes	2
Débit de fonctionnement (m ³ /h)	5
Pression (bars)	3

IV.4. Description et fonctionnement du système [15]

IV.4.1. Echange Cationique Fort

Cette unité a la fonction de traiter les cations contenus dans l'eau brute, en particulier chaque unité est réalisée par un réservoir en acier ébonite avec le plancher équipé avec les buses pour le passage de l'eau traitée et la rétention des résines. Le réservoir contient la résine forte pour la rétention des cations comme (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺),

Le schéma ci-dessous présenter le fonctionnement de unité cationique pour traiter les cations contenus dans l'eau brute.

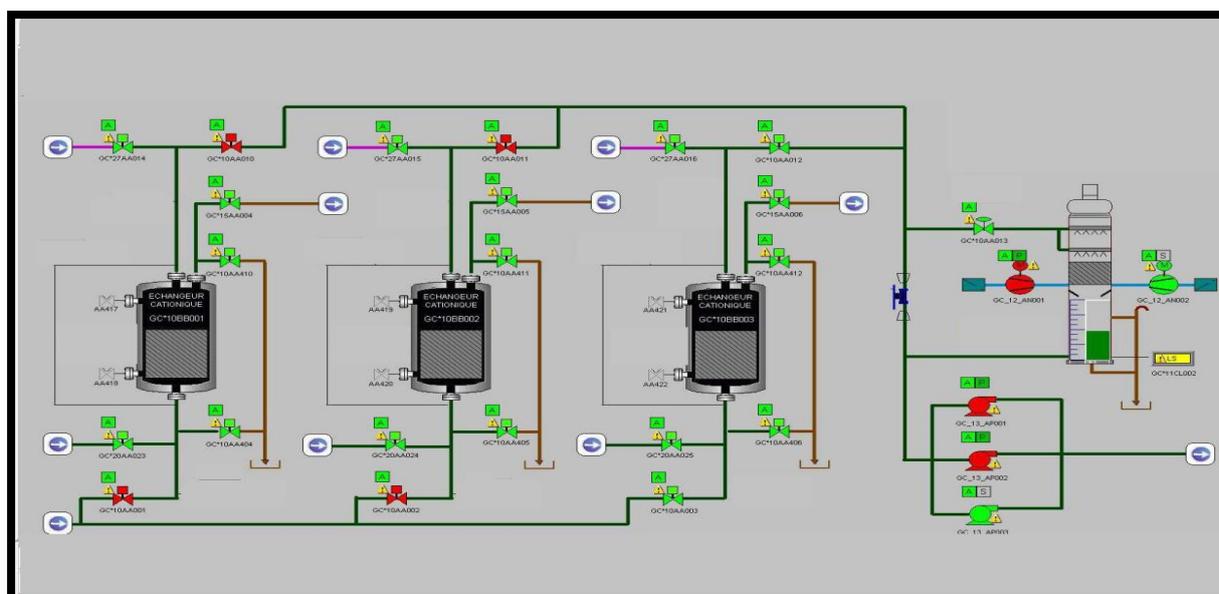


Figure IV.12 : Schéma simplifié d'échange cationique [15].

IV.4.2. Tour de Dégazage

Cette section a la fonction d'enlever le CO_2 par le stripage avec air en contre-courant. Le CO_2 dérive de la transformation des bicarbonates dans l'ambiance acide de l'échangeur cationique, La tour de dégazage est commune aux deux lignes en fonction de déminéralisation.

IV.4.3. Echange Anionique Fort

Cette unité a la fonction de traiter les anions contenus dans l'eau en arrivée de la tour de dégazage, en particulier chaque unité est réalisée par un réservoir en acier ébonite avec le plancher équipé avec les buses pour le passage de l'eau traitée et la rétention des résines. Le réservoir contient la résine forte pour la rétention des anions comme les sulfates et chlorures (Cl^- , SO_4^{2-} , SiO_2^-).

Le schéma ci-dessous présenter le fonctionnement de unité anionique pour traiter les anions contenus dans l'eau en arrivée de la tour de dégazage.

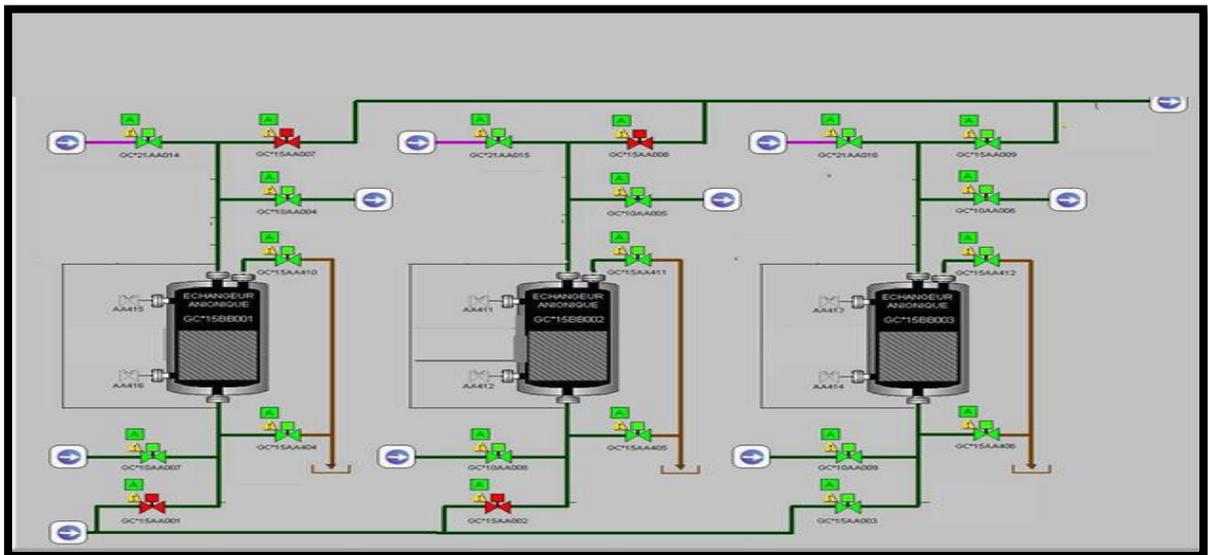


Figure IV.13 : Schéma simplifiée d'échange anionique [15].

IV.4.4. Echange à Lit Mélange

Cette unité a la fonction de polissage final de tous les cations et les anions contenus dans l'eau en arrivée des échangeurs anioniques, en particulier chaque unité est réalisée par un réservoir en acier ébonite avec le plancher équipé avec les buses pour le passage de l'eau traitée et la rétention des résines. Un filtre à lits mélangés comprend le mélange d'échangeur cationique fortement acides, et les échangeurs anioniques fortement basiques.

En service normale, l'eau à déminéraliser s'écoule de haute en bas à travers la couche des résines telles que Les cations de l'eau sont absorbés par la résine cationique et échangés contre les ions.

Le schéma ci-dessous présenter le fonctionnement de unité à lit mélangé pour le traitement final de tous les cations et les anions contenus dans l'eau en arrivée des échangeurs anionique (figure IV.14).

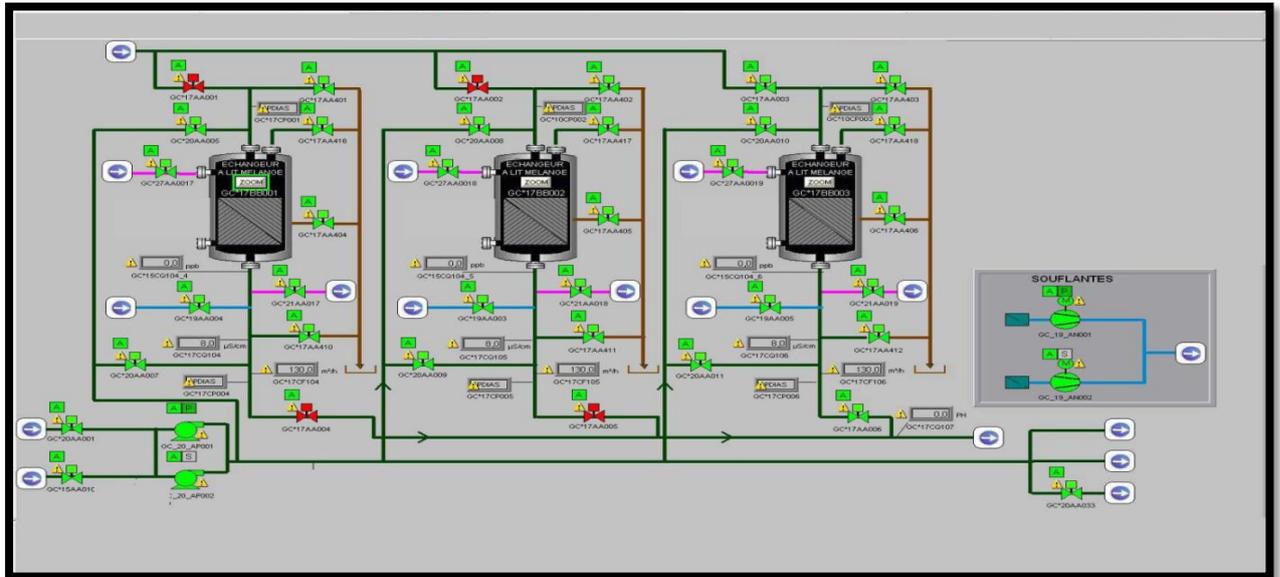


Figure IV.14 : Schéma simplifié de filtre à lit mélangé.

IV.5. Caractéristique de l'eau déminéralisée [18]

A la fin de déminéralisation (à la sortie à lit mélangé) l'eau pratiquement déminéralisé on obtient une eau très pure avec une conductivité électrique inférieure à **0.1 µS/cm** et une teneur en silice inférieure à **0.02 mg/l**.

L'eau déminéralisée aura un débit instantané lourd de **260 m³/h** avec la composition Suivante:

Tableau IV.5 : Caractéristique de l'eau déminéralisée.

Paramètre	Caractéristique
pH	7 +/- 0,3
Conductivité	0,1 µS/cm
Silice	0,02 mg/l SiO ₂
Matière organique	Absente

IV.6. Régénération [15]

IV.6.2. Installation de régénération [16]

Si la sortie à lit mélangés, la conductivité est importante (supérieure à $0.1\mu\text{S}/\text{cm}$) et l'eau est de mauvaise qualité, ce dernier ne doit pas être utilisée pour la besoins de la centrale et surtout pour l'alimentation du générateur à vapeur.

Une régénération du filtre à lit mélangé est nécessaire quand :

Les indices suivants permettent de déceler si la régénération est nécessaire :

- Si la conductivité à la sortie des lits mélangés est supérieure à **$0,1\mu\text{S}/\text{cm}$** .
- Si la silice **SiO_2** est supérieure à **$0,02\text{mg}/\text{l}$** .
- Si la différence de pression entre l'entrée et la sortie des lits mélangés est supérieure à **1,5 bar**.

Après un fonctionnement continu de **4 semaines**.

IV.6.2.1. Station de préparation d'acide chlorhydrique [15]

L'acide chlorhydrique à **32%**de concentration est stocké deux réservoirs avec le contenu de **50m^3** .Le remplissage des contenus par l'acide s'effectue par le refoulement avec l'air comprimé la quantité d'acide chlorhydrique nécessaire pour la régénération est transportée par deux pompes doseuses et diluée avec l'eau déminéralisée à la concentration de régénération qui est **6%**.

Le schéma ce dessous présent l'installation de système de soude caustique.

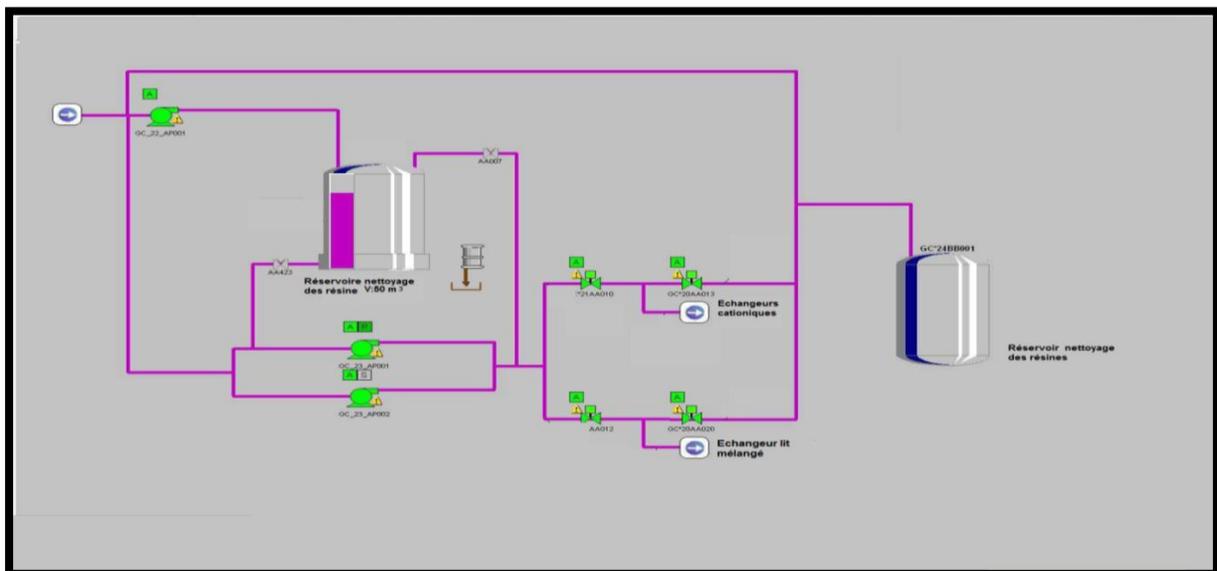


Figure IV.15 : Système de dosage d'acide chlorhydrique.

IV.6.2.2. Station de dilution de la soude caustique [15]

La soude caustique qui est livrée en forme solide (flacon, feuillet), est dissoute dans une cuve de dissolution équipée d'un agitateur à la concentration **40%**, puis pompé par deux pompes de remplissage jusqu'au réservoir de stockage **1800 L** de volume.

La quantité nécessaire à la régénération est aspirée par deux pompes doseuse et diluée avec l'eau déminéralisée à la concentration de régénération qui est 5%.

Le schéma ce dessous présent l'installation de système de soude caustique.

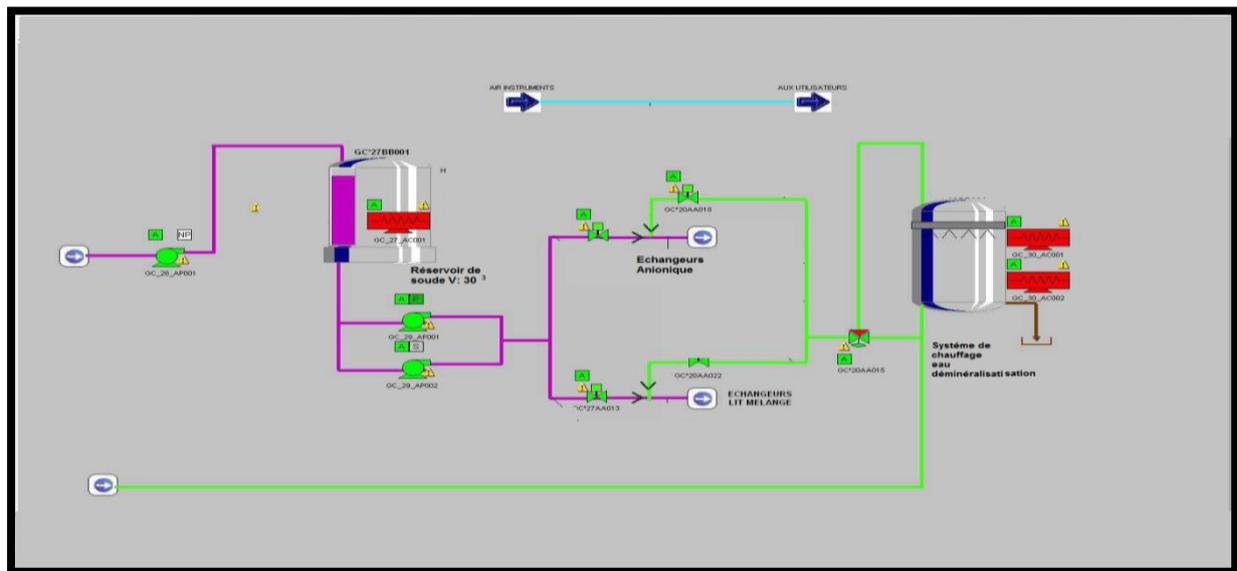


Figure IV.16 : Système dosage de la soude caustique.

IV.7. Séquence de régénération des résines [15]

Les phases de régénération des échangeurs cationiques, anioniques et des lits mélangés ainsi que les temps des phases, les débits de régénération et les volumes d'eau vers la vidange sont indiqués ci-dessous :

IV.7.1. Etapes de régénération des résines cationiques

La régénération d'un échangeur cationique s'effectue selon l'étape suivante (tableau IV.6):

- 1) **Injecter le régénérant dilué** : dans l'eau de qualité appropriée. Le passage du régénérant se fait à débit faible **35 m³/h**, de sorte que le temps d'injection est de 30 minutes en général.
- 2) **Rinçage** : Rincer le lit de résine cationique avec de l'eau brute jusqu'à obtention de la qualité d'eau traitée souhaitée, avec le même débit **35m³/h** de l'eau.
- 3) **Rinçage finale** : Rincer le lit de résine par soulèvement hydraulique à co-courant seulement afin d'éliminer les matières en suspension accumulées à la surface du lit de résine pendant **15 min.**

- 4) **Circulation** : la phase (4) remplace ou complète la phase (3) et dépend de la qualité d'eau traitée nécessaire, le débit minimum est **70m³/h**. [17]

Tableau IV.6 : Étapes de régénération de l'échangeur cationique [15].

Phase	Débit (m ³ /h)	Volume (m ³)	Durée (min)
injection d'acide à 6%	35 m ³ /h de l'eau	17.5	30
	7 m ³ /h d'acide	3.5	
Rinçage	35	35	60
Rinçage final	130	32	15
Circulation	70	/	30

IV.7.2. Etapes de régénération des échangeurs anioniques [17]

La procédure générale de régénération d'un échangeur anionique est la suivante :

- 1) **Injecter de soude à 4%**: dans l'eau de qualité appropriée. Le passage du régénérant se fait à débit faible **43 m³/ h**, de sorte que le temps d'injection est de **60 minutes** en général.
- 2) **Rinçage** : Rincer le lit de résine anionique avec de l'eau brute jusqu'à obtention de la qualité d'eau traitée souhaitée, avec le même débit **43 m³/ h** de l'eau.
- 3) **Rinçage finale** : Rincer le lit de résine par soulèvement hydraulique à co-courant seulement afin d'éliminer les matières en suspension accumulées à la surface du lit de résine pendant **20 min**.
- 4) **Circulation** : la phase (4) remplace ou complète la phase (3) et dépend de la qualité d'eau traitée nécessaire, le débit minimum est **70 m³/h**.

Tableau IV.7 : Etapes de régénération l'échangeur anionique [15].

Phase	Débit (m ³ /h)	Volume (m ³)	Durée (min)
Injection la soude à 4%	43 m ³ /h de l'eau	17.5	40
	3,4 m ³ /h de soude	2.26	
Rinçage	43	43	60
Rinçage final	130	32	20
Circulation	70	/	30

IV.7.3. Régénération de lit mélangé [16]

La régénération consiste à effectuer un rinçage des résines anioniques et cationiques par deux solutions :

- ❖ Solution de HCL concentrée à 5 %.
- ❖ Solution de NaOH concentrée à 5 %.

IV.7.3.1. Etapes de régénération de filtre à lit mélangé [16]

Au niveau de la centrale, la régénération a lieu en mode à **contre-courant**. Elle s'effectue en neuf étapes suivantes :

1^{ère} Etape : Détassage

La première étape consiste à effectuer la séparation des résines. De l'eau brute est introduite par le point bas, l'eau ressort par la partie supérieure.

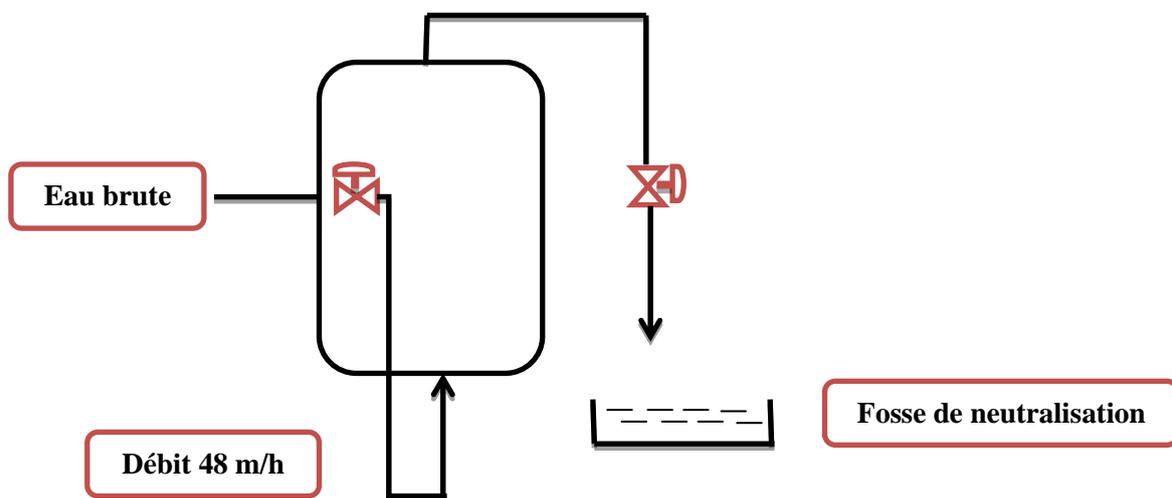


Figure IV.17 : Etape n°1 de régénération des lit mélangé.

Par la différence de poids spécifique les résines cationiques plus denses retournent dans le bas du réservoir. Les résines anioniques plus légères occupent; la partie supérieure. Cette opération dure 10 min.

2^{ème} Etape : Pause

Arrêt de l'arrivée de l'eau brute donc de la pompe d'eau brute, de façon que les résines soient séparées au repos. Cette opération dure 5 mn. Par l'intermédiaire des hublots un contrôle visuel permet de différencier les résines de couleurs différentes si elles sont bien séparées (figure IV.18)

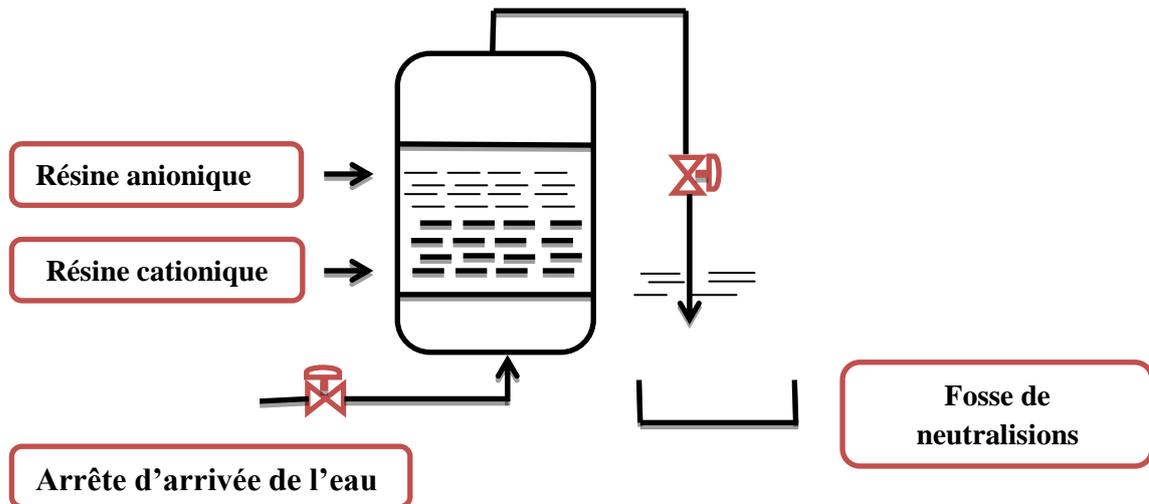


Figure IV.18 : Etape n°2 de régénération des lit mélangé.

3^{ème} Etape : Remplissage d'acide et de soude

Cette étape consiste au remplissage d'acide HCL et de la soude caustique NaOH, l'opération de remplissage acide dure 20 mn Idem pour le remplissage de soude la durée est 30 mn.

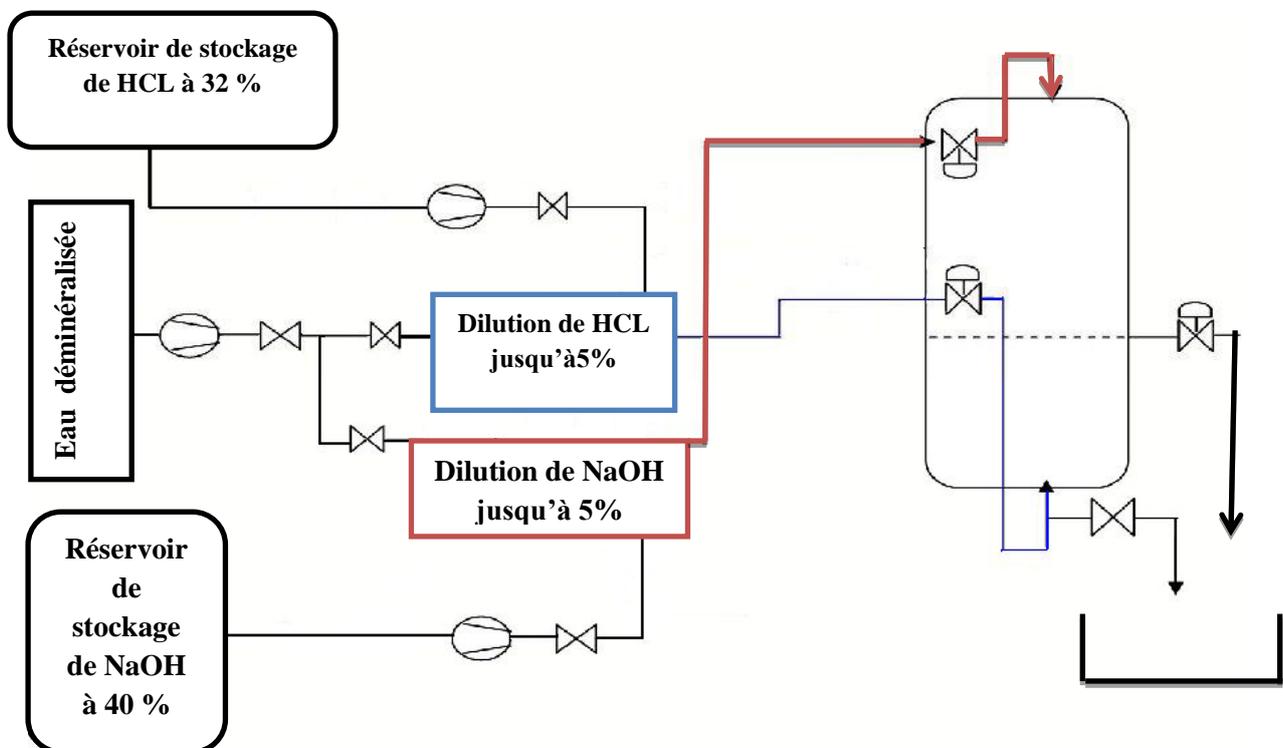


Figure IV.19 : Etape n°3 de régénération des lit mélangé.

4^{ème} Etape : Rinçage des résines

Une fois que l'acide et la soude caustique sont introduits, les pompes doseuses de HCL et NaOH s'arrêtent automatiquement. La pompe d'eau de dilution reste en service pour effectuer le lavage des résines pour lever la HCL et NaOH, Cette opération dure 25 mn.

5^{ème} Etape : Pause

Avant de passer à l'étape suivante c'est à dire l'étape n°6, une pause de **20 min** est nécessaire, pour arrêter complètement l'opération de lavage des résines.

6^{ème} Etape : Rinçage des résines

Consiste à stabiliser le niveau à l'intérieur du lit mélangé. Le niveau d'eau doit diminuer pour se stabiliser à 10 cm au-dessus des résines. Contrôler le niveau visuellement par les hublots cette opération dure 10 min.

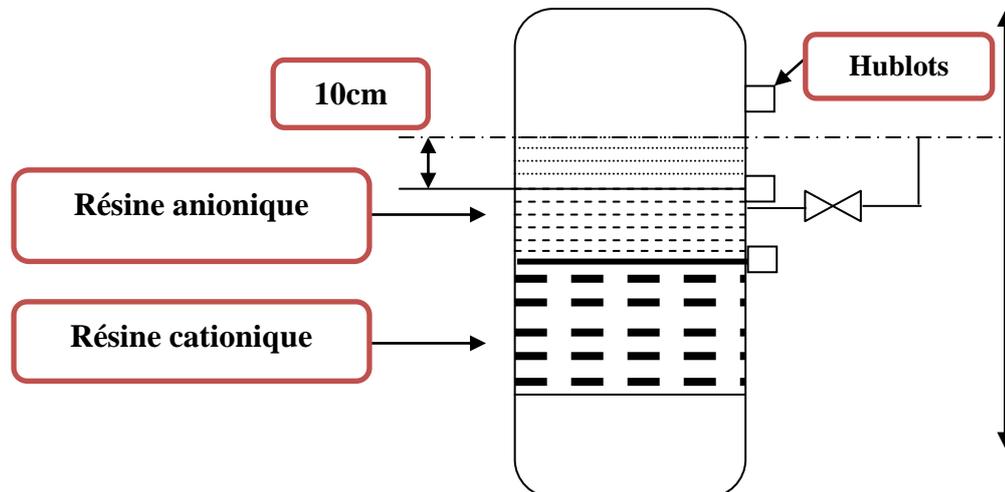


Figure IV.20 : Etape n°6 de régénération des lit mélangé.

7^{ème} Etape : Reconstitution du mélange de résine

Cette étape consiste en une reconstitution du mélange des résines, l'air fournit par le compresseur est introduit par le bas du réservoir des lits mélangés, Il faut surveiller cette opération, car on risque de casser les résines par éclatement, si cela s'avère nécessaire il faut minimiser le temps d'injection d'air. Cette opération dure **10 mn** (figure IV.21).

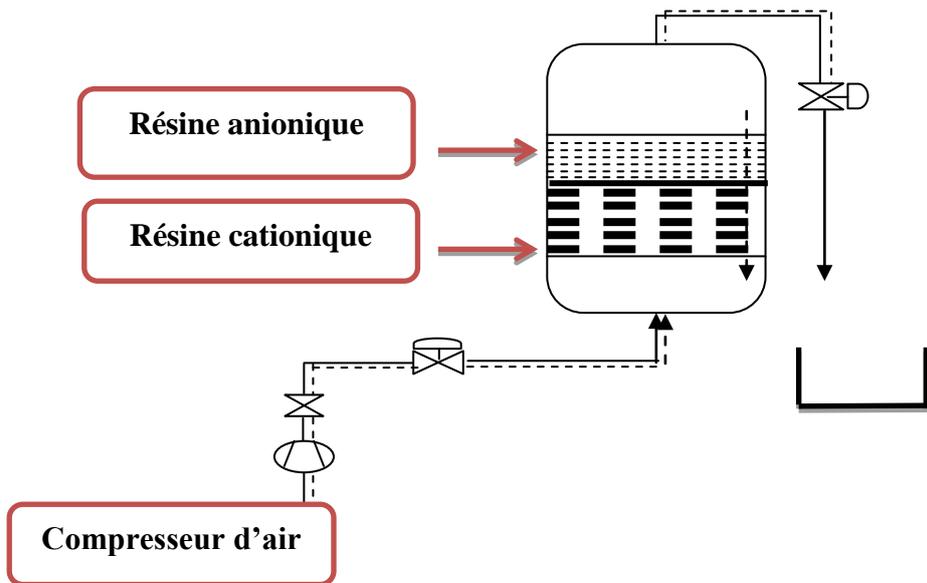


Figure IV.21 : Etape n°7 de régénération des lit mélangé.

8^{ème} Etape : Remplissage de l'espace vide

Remplissage de l'espace vide du réservoir des lits mélangés jusqu'à ce que l'eau sorte par la conduite d'évacuation. Cette opération dure **5 mn.**

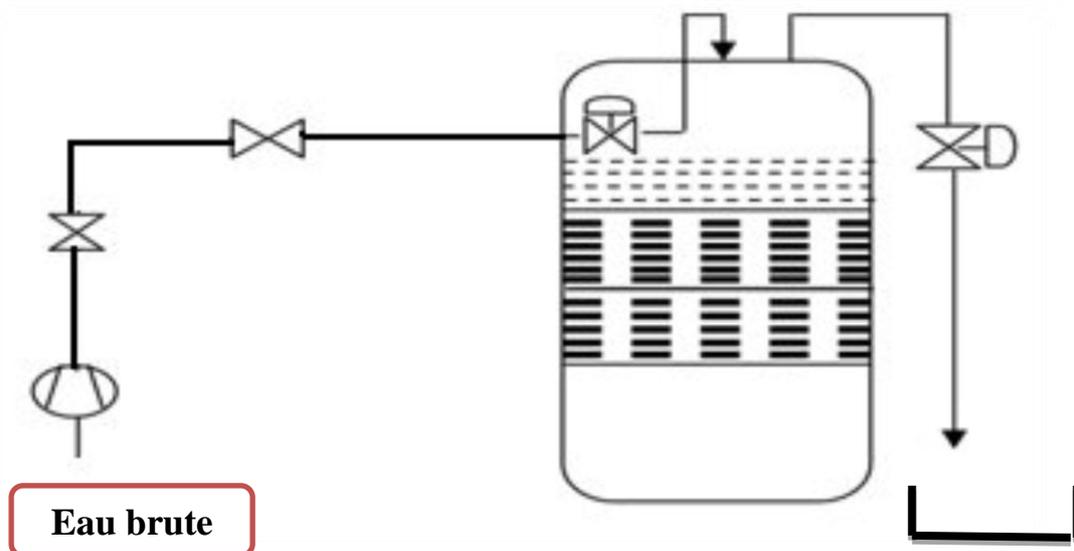


Figure IV.22 : Étape n°8 de régénération des lit mélangé.

9^{ème} Etape : Rodage du lit mélangé

Cette opération consiste à effectuer une recirculation pour le lavage des résines. Cette étape dure 120 mn.

- si la conductivité est supérieure **10 $\mu\text{s}/\text{cm}^l$** l'eau dirigée vers le rejet.

- Si la conductivité est comprise entre **0.1** et **10 $\mu\text{s/cm}$** la recirculation est maintenue pendant **120 mn**.
- Si la conductivité est inférieure **0.1 $\mu\text{s/cm}$** l'eau déminéralisée est dirigée vers les baches de stockage.

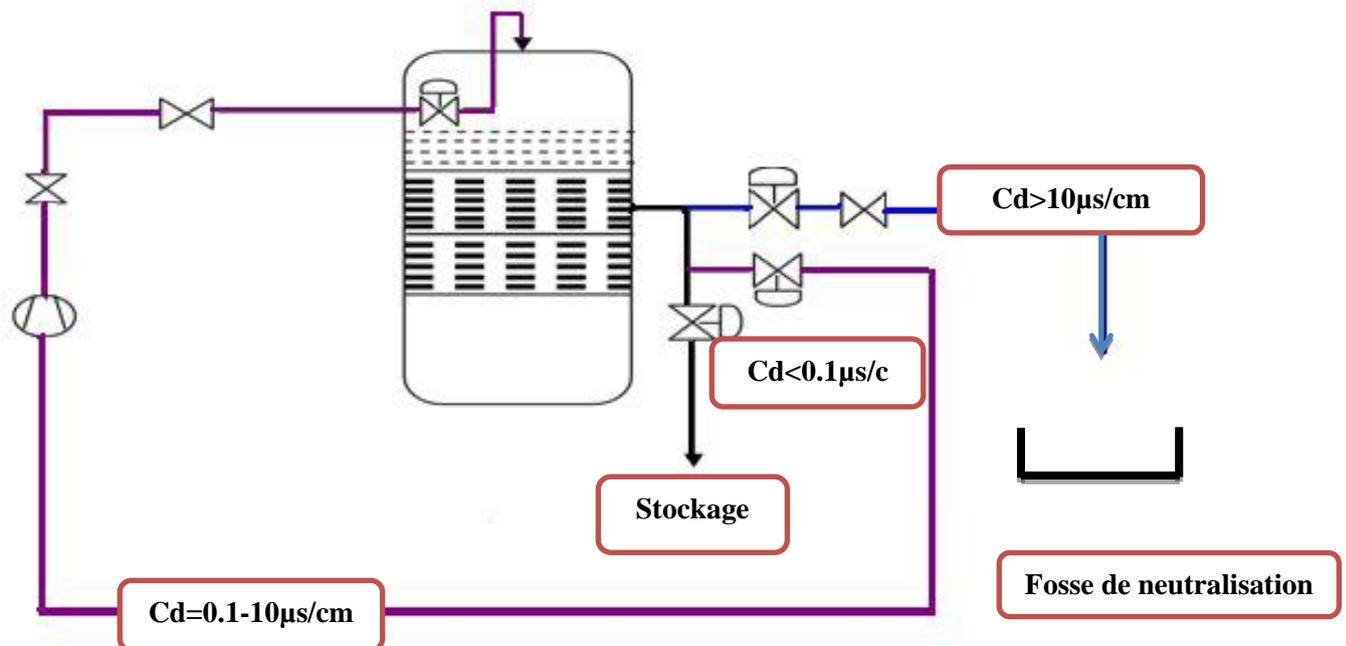


Figure IV.23 : Etape n°9 de régénération des lits mélangés.

IV.8. Neutralisation [16]

Les traitements de correction de pH souvent désignés par le terme de **neutralisation**, qui consiste à ramener le pH d'une eau à une valeur définie. Les solutions évacuées au niveau de la centrale ne peuvent pas être directement déversées dans le conduit des eaux résiduaires, car elles sont encore corrosives et pourraient endommager les canalisations et polluer l'environnement, il faut donc neutraliser ces solutions.

Les solutions conduites à la neutralisation viennent :

- De la régénération de l'installation.
- De lavage à contre-courant.
- Des filtres humides du réservoir **HCL**.
- Des filtres humides du réservoir **NaOH**.
- Des vidanges.

Les composants principaux de l'installation de neutralisation sont (figure IV.24).

- Un bassin mélangeur.
- Une pompe aspirante.

- Deux ventilateurs à air mélangeurs.
- Deux réservoirs collecteurs.

Le capteur de niveau très haut donne une alarme en salle de commande et met la neutralisation en service automatique. La pompe de recirculation reste en service pendant 20 min avant toute injection, afin d'avoir un mélange homogène, et une mesure de **pH** correcte, après **20 min** si le pH est bas (inférieure à 7), il y a injection de **NaOH**, s'il est supérieur à 7 injecté HCL.

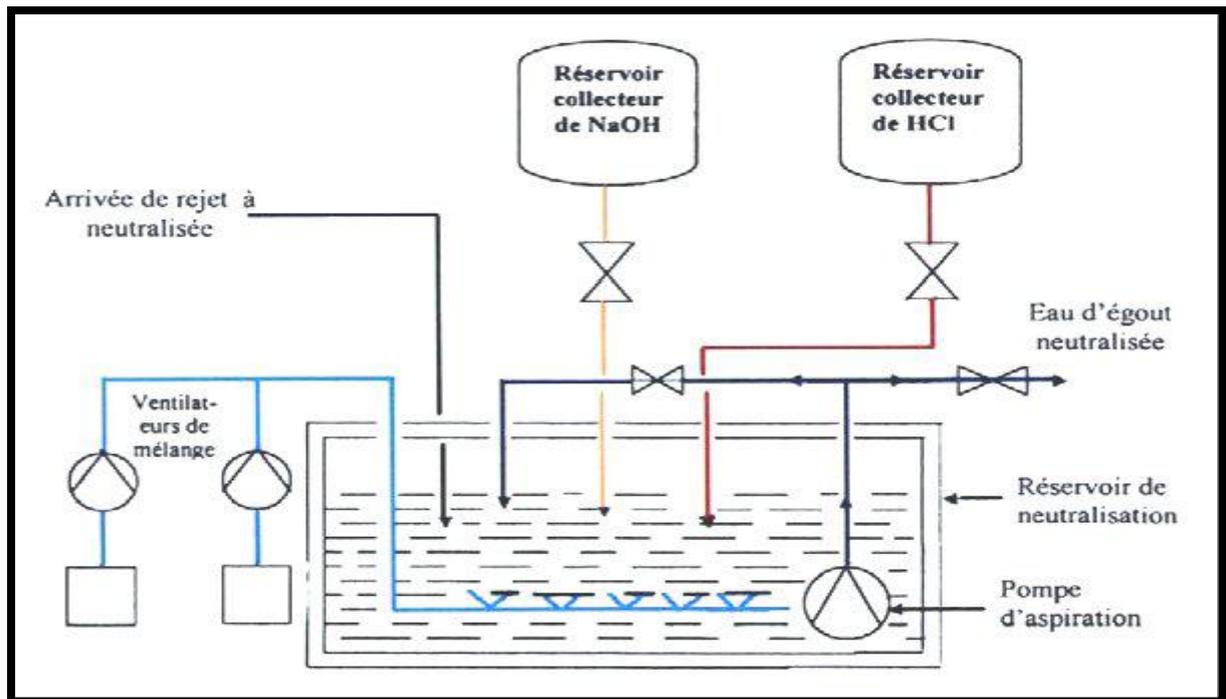


Figure IV.24 : Schéma de neutralisation.

IV.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la nouvelle station de déminéralisation de l'eau brute et leur fonctionnement et citer les différentes étapes de régénération pour chaque échangeur.

Chapitre

Expérimentation, résultats et interprétations

Ce chapitre montre tout d'abord les points et le principe de prélèvements des différents échantillons et présente les principes des protocoles expérimentaux utilisés pour l'ensemble des analyses physico-chimique. Le détail de ces méthodes est présenté (**voir annexe II**), notre étude de la nouvelle installation de déminéralisation de l'eau brute par échange d'ions au niveau de la centrale thermique de CAP-DJINET consiste à évaluer l'efficacité du traitement des eaux adaptées au besoin de cette centrale thermique, pour cela, nous avons suivi l'évolution des caractéristiques physico-chimique de l'eau de puits avant et après le procédé de déminéralisation c'est-à-dire : l'eau brute de puits, l'eau après l'échange cationique, l'eau après l'échange anionique et après passage par le lit mélangé (traitement de finition).

V.1. Prélèvement des échantillons d'eau

Pour l'analyse et le jugement de la qualité d'une eau, la prise d'échantillons et aussi importante que l'analyse elle-même. Elle doit être conforme au but de l'analyse et aux circonstances présentes. D'abord, il est important de prélever l'échantillon à l'endroit juste, ce qui veut dire que l'échantillon doit posséder une valeur représentative pour l'eau à analyser.

Le prélèvement d'eau est une opération délicate, il permet de définir la qualité de l'eau en un instant donné et durant une période déterminée plus ou moins longue. De ce fait il faut lui apporter le plus grand soin [19].

a) Prélèvement et conservation des échantillons [20]

Les échantillons d'eau de puits désignés A, B et C correspondant aux journées de prélèvement respectives au **13/03 /2017**, **26/03/2017** et **03/04/2017** ont été prélevés à l'aide de bouteilles en polyéthylène qui sont lavés et séchés comme suivant :

- Lavage au détergent avec l'eau plusieurs fois.
- Rinçage abondant avec de l'eau distillé.
- Rinçage des flacons avec l'eau à analyser.
- Eviter toutes bulles d'air dans les flacons.

b) Principaux renseignements à fournir pour une analyse d'eau [20]

- Identité du préleveur.
- Date et heure du prélèvement.
- Particulier ou autorité demandant l'analyse.
- Ville ou établissement que l'eau alimente ; le cas échéant, le type de traitement utilisé.
- Nom du point d'eau et localisation précise.
- Origine de l'eau (source, puits, forage, rivière, lac, barrage, citerne, etc.).

- Aspect particulier (couleur, débris, irisation, odeur, etc.).
- Température de l'eau à l'émergence et celle de l'atmosphère au moment du prélèvement.
- Débit approximatif à la minute ou à la seconde. Dans le cas d'une nappe souterraine, préciser la profondeur et l'épaisseur de cette nappe, la durée du pompage et le débit.

V.2. Matériel et laboratoire

- L'analyse de la quasi-totalité des paramètres physico-chimique a été effectuée au laboratoire de chimie de la centrale thermique de CAP-DJINET.
- Les analyses de sodium et de potassium ont été effectuées au laboratoire de technologie alimentaire au niveau de l'université de M'HAMED BOUGARA (faculté de science de l'ingénieur).
- Les analyses de sulfates, phosphates, nitrite et nitrate ont été effectuées au laboratoire de génie de l'environnement au niveau de l'université de M'HAMED BOUGARA (faculté de science de l'ingénieur).

V.3. Méthodes d'analyse

Le tableau suivant récapitule les différentes méthodes d'analyse utilisées au niveau de la centrale thermique et l'université :

Tableau V.8 : Différents méthode d'analyse utilisée à la centrale.

Paramètres d'analyses	Méthodes d'analyses
pH	pH mètre
Conductivité électrique	Conductimétrie
TH	Complexométrie
TA	Volumétrie
TAC	Volumétrie
Silice, fer, cuivre	Spectrophotométrie d'adsorption Moléculaire (S.A.M)
Calcium, magnésium	Complexométrie
Chlorure	Volumétrie
Turbidité	Turbidimétrie
Sulfate, phosphate, nitrite, nitrate	(S.A.M)
Sodium, potassium	Spectrophotométrie à flamme (S.A.F)

V.3.1. Résultats de l'analyse physico-chimique de l'eau avant et après déminéralisation

Les tableaux V.9, tableaux V.10, tableaux V.11 et tableaux V.12 présentent respectivement les résultats des analyses de l'eau de puits (brute), de l'eau cationique (sortie cationique), de l'eau anionique (sortie anionique) et de l'eau déminéralisée.

Tableau V.9 : Résultats d'analyses physico-chimique de l'eau brute.

Essai Paramètres	Unités	A	B	C	Moyenne
Ph		7.49	7.50	7.50	7.49
Température	°C	17	17	17	17
Conductivité	µS /cm	1320	1310	1315	1315
Salinité	g/l	0.6	0.6	0.6	0.6
Turbidité	NTU	8	8	8	8
TH	°F	14	14	15	14.6
TH_{Ca}²⁺	mg/l	32	28	30	30
TH_{Mg}²⁺	mg/l	14.4	16.8	18	16.4
Chlorures (Cl)	mg/l	106	106.8	106.5	106.5
TA	°F	00	00	00	00
TAC	°F	19.5	20	19.5	19.6
CO₃²⁻	mg/l	00	00	00	00
HCO₃⁻	mg/l	237.9	244	237.5	239.12
Sulfates (SO₄²⁻)	mg/l	125.48	/	/	125.48
Phosphates (PO₄³⁻)	mg/l	3.73	/	/	3.73
Nitrite (NO₂⁻)	mg/l	0.28	/	/	0.28
Nitrate (NO₃⁻)	mg/l	1.95	/	/	1.95
Fer (Fe³⁺)	mg/l	0.315	/	/	0.315
Cuivre (Cu²⁺)	mg/l	27	/	/	27
Silice (SiO₂)	mg/l	20	19	/	19.5
Sodium (Na⁺)	mg/l	0.14	/	/	0.14
Potassium (K⁺)	mg/l	0.15	/	/	0.15

Tableau V.10 : Résultats d'analyses physico-chimique après le passage de résine cationique

Essai Paramètres	Unités	1 ^{ere} h	3 ^{ere} h	5 ^{ere} h	7 ^{ere} h	Point de saturation
pH		2.9	2.88	2.88	2.87	2.93
Température	°C	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5
Conductivité	µS /cm	3166	3375	3386	3387	2810
Salinité	g/l	1.4	1.8	2	2.1	2.1
Turbidité	NTU	1.03	0.52	0.52	0.46	0.83
TH	°F	00	00	00	00	00
TH _{Ca} ²⁺	mg/l	00	00	00	00	00
TH _{Mg} ²⁺	mg/l	00	00	00	00	00
Chlorures (Cl)	mg/l	106.5	106.5	106.5	106.5	106.5
TA	°F	00	00	00	00	00
TAC	°F	00	00	00	00	00
CO ₃ ²⁻	mg/l	00	00	00	00	00
HCO ₃ ⁻	mg/l	00	00	00	00	00
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/l	125.4	125.4	125.4	125.4	125.4
Phosphates (PO ₄ ³⁻)	mg/l	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73
Nitrite (NO ₂ ⁻)	mg/l	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Nitrate (NO ₃ ⁻)	mg/l	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95
Fer (Fe ³⁺)	mg/l	0.030	00	00	00	0.030
Cuivre	mg/l	0.01	00	00	00	00
Silice (SiO ₂)	mg/l	20	19	20	20	20
Sodium (Na ⁺)	mg/l	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Potassium (K ⁺)	mg/l	0.15	0.01	0.01	0.01	0.02

Tableau V.11 : Résultats d'analyses physico-chimique après le passage de résine anionique.

Essai Paramètres	Unités	1 ^{ere} h	3 ^{ere} h	5 ^{ere} h	7 ^{ere} h	Point de saturation
Ph		9.54	9.50	9.50	9.7	10.30
Température	°C	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3
Conductivité	µs /cm	12.5	10.70	11.25	11.25	38
Salinité	g/l	00	00	00	00	00
Turbidité	NTU	0.35	0.35	0.32	0.16	0.71
TH	°F	00	00	00	00	00
TH _{Ca} ²⁺	mg/l	00	00	00	00	00
TH _{Mg} ²⁺	mg/l	00	00	00	00	00
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	4.05	2.50	1.03	0.1	17.75
TA	°F	2	2	1	0.5	2.2
TAC	°F	10	10	5	2.5	7
CO ₃ ²⁻	mg/l	12	12	6	3	13.64
HCO ₃ ⁻	mg/l	73.2	73.2	36.6	24.4	31.72
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/l	2.23	2	0.05	00	0.05
Phosphates (PO ₄ ³⁻)	mg/l	0.47	0.27	0.05	00	0.43
Nitrite (NO ₂ ⁻)	mg/l	00	00	00	00	00
Nitrate (NO ₃ ⁻)	mg/l	0.110	0.042	0.011	00	0.973
Fer (Fe ³⁺)	mg/l	0.001	00	00	00	0.0015
Cuivre	mg/l	00	00	00	00	0.1
Silice (SiO ₂)	mg/l	0.014	0.013	00	00	0.1
Sodium (Na ⁺)	mg/l	0.01	00	00	00	0.01
Potassium (K ⁺)	mg/l	0.02	00	00	00	0.02

Tableau V.12 : Résultats d'analyses physico-chimique de l'eau déminéralisée.

Essai Paramètres	Unités	Après la déminéralisation	Norme
pH		7.5	7.5
Température	°C	17.5	/
Conductivité	µS /cm	0.04	< 0.1
Salinité	g/l	00	/
Turbidité	NTU	0.16	< 5
TH	°F	00	00
TH_{Ca}²⁺	mg/l	00	00
TH_{Mg}²⁺	mg/l	00	00
Chlorures (Cl⁻)	mg/l	00	00
TA	°F	00	00
TAC	°F	00	00
CO₃²⁻	mg/l	00	00
HCO₃⁻	mg/l	00	00
Sulfates (SO₄²⁻)	mg/l	00	00
Phosphates (PO₄²⁻)	mg/l	00	00
Nitrite (NO₂⁻)	mg/l	00	00
Nitrate (NO₃⁻)	mg/l	00	00
Fer (Fe³⁺)	mg/l	00	00
Cuivre	mg/l	0.003	00
Silice (SiO₂)	mg/l	0.002	< 0.02
Sodium (Na⁺)	mg/l	00	00
Potassium (K⁺)	mg/l	00	00

V.4. Interprétation des résultats

Pour une analyse large des résultats enregistrés dans les tableaux précédents et afin de pouvoir apprécier la qualité de traitement, on a eu recours au tracé des histogrammes déterminant l'évolution des différents paramètres en fonction des étapes de traitement.

1. pH

La figure V.25 représente l'évolution du pH en fonction de l'eau traitée.

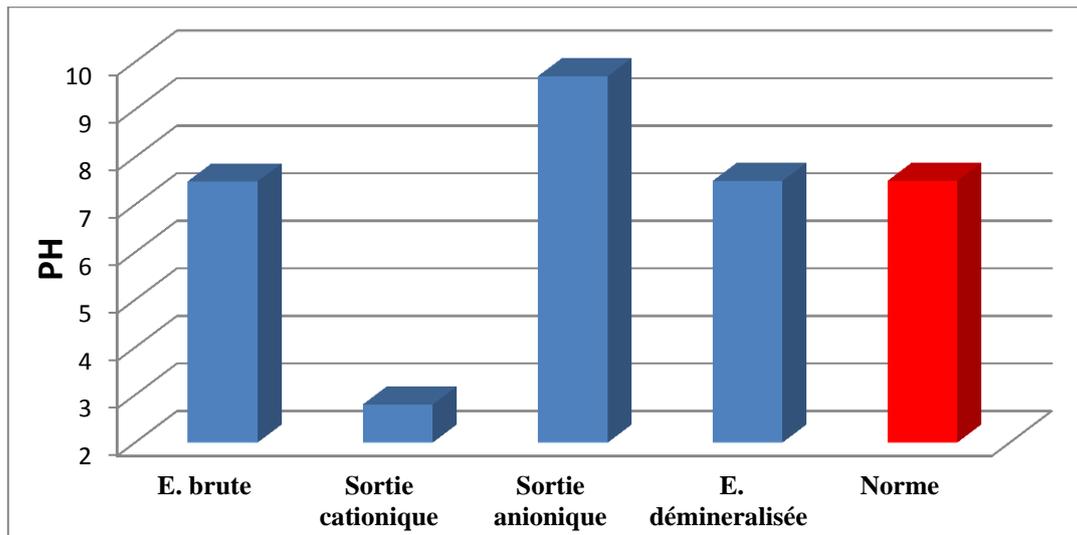


Figure V.25 : Évolution du pH en fonction du l'eau traitée.

Le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau, le potentiel hydrogène est le reflet de la concentration d'une eau en ions (H^+) [21]

On note ici que l'eau brute a un pH neutre, après passage à travers la résine cationique, elle subit une baisse significative jusqu'à **2.88** correspondant à la formation des acides forts due à la décationisation, après le passage en 2^{ème} étape par la résine anionique, on constate une augmentation de pH jusqu'à **9.5**, l'eau a été neutralisée à un pH de **7.5** après passage par le lit mélangé.

2. Température

La figure V.26 représente l'évolution de la température en fonction de l'eau traitée.

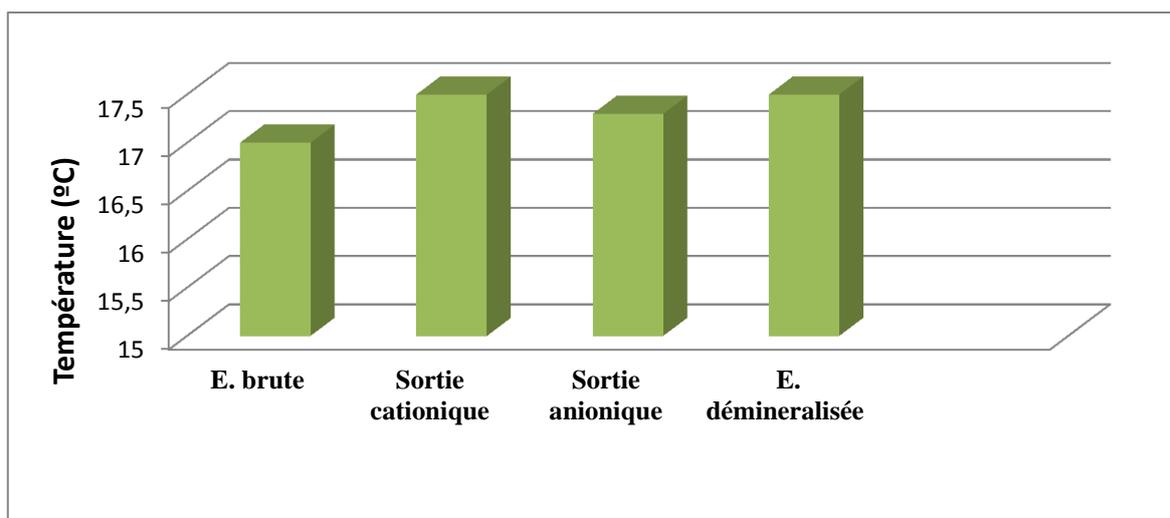


Figure V.26 : Evolution de la température en fonction du l'eau traitée.

La température est un facteur abiotique très important, sa mesure est nécessaire puisqu'elle joue un rôle dans la solubilité des gaz, la dissociation des sels dissous et la détermination du pH [21], D'après les résultats, on remarque que les valeurs de température pour les différentes étapes de traitement fluctuent légèrement entre **17 ° et 20 °C**, Selon la saison, en générale la température n'a pas d'influence sur la qualité de l'eau produite.

3. Conductivité et la salinité

La figure V.27 et la figure V.28 représente respectivement l'évolution de la conductivité et de la salinité en fonction de l'eau traitée.

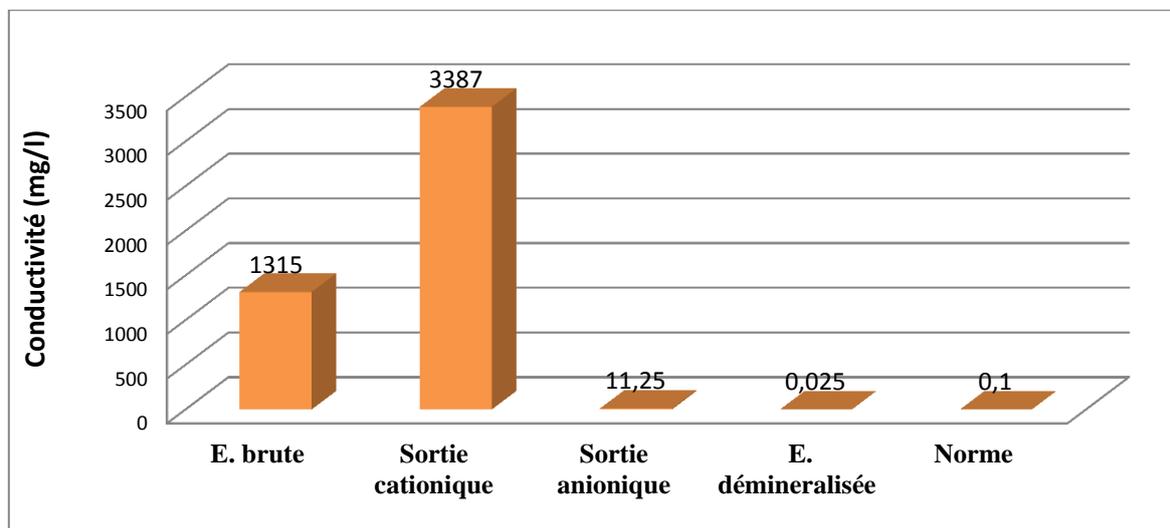


Figure V.27 : Évolution de la conductivité en fonction du l'eau traitée.

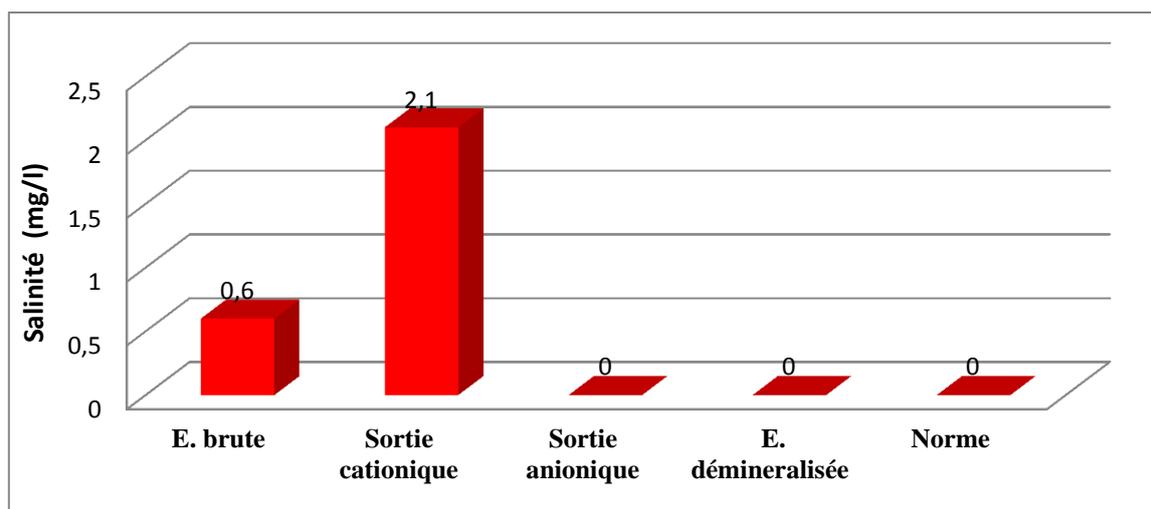


Figure V.28 : Évolution de la salinité en fonction de l'eau traitée.

La conductivité électrique est proportionnelle à la salinité de l'eau

D'après les résultats obtenus pour les trois qualités d'eau, on remarque que la valeur de la conductivité de l'eau brute est de **1315 $\mu\text{S}/\text{cm}$** , celle-ci a été triplée à **3328.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$** après le passage par la résine cationique et la formation des acides forts. Cette conductivité est liée à l'existence de sels dissouts présents dans l'eau, l'échange anionique a capté tous les anions restants abaissant ainsi la conductivité à **11.42 $\mu\text{S}/\text{cm}$** . Le filtre mélangé a éliminé ce qui a échappé à l'anionique jusqu'à **0.025 $\mu\text{S}/\text{cm}$** .

4. Turbidité

La figure V.29 représente l'évolution de la turbidité en fonction de l'eau traitée.

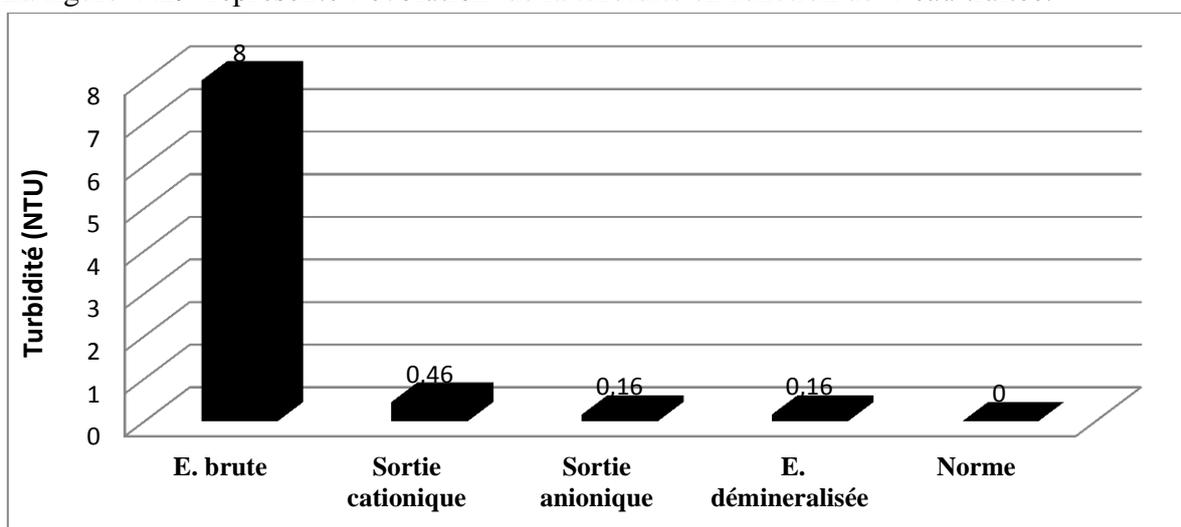


Figure V.29 : Évolution de la turbidité en fonction de l'eau traitée.

La turbidité est un paramètre, qui varie en fonction des composés colloïdaux (argiles) ou acides humiques (dégradation des végétaux) mais aussi les pollutions qui troublent l'eau.

D'après les résultats, on remarque que la turbidité de l'eau brute est élevée **8 NTU** c.-à-d. : eau légèrement trouble **< 30 NTU** du à la présence de matières en suspension ; matière argileuse ; et produits de corrosion des conduites de forage et d'acheminement, après déminéralisation, l'eau devient très claire avec une turbidité de **0.16 NTU** répondant largement à la norme.

5. Dureté totale TH

La figure V.30 représente l'évolution de la dureté totale en fonction de l'eau traitée.

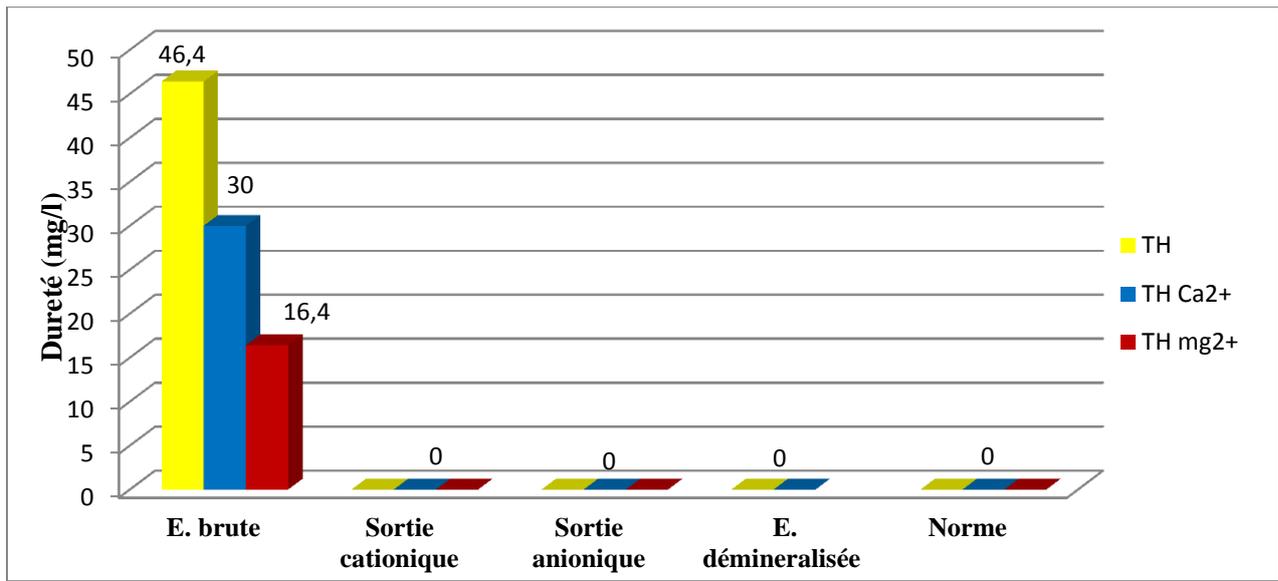


Figure V.30 : Evolution de la dureté totale en fonction de l'eau traitée.

La dureté totale d'une eau exprime la somme de la concentration en ions calcium, et magnésium. Selon les résultats obtenus, l'eau de puits présente une dureté d'une valeur moyenne de **14.6 °F**, après la déminéralisation la dureté s'annule.

L'intérêt à avoir une dureté nulle au niveau des chaudières est que sous l'action de la chaleur, une libération de CO_2 s'accompagne de la précipitation de CaCO_3 qui pose un problème particulièrement aigu dans le cas des chaudières industrielles à haute pression.

6. Titres alcalimétriques TA, TAC

La figure V.31 représente l'évolution de TA, TAC en fonction de l'eau traitée.

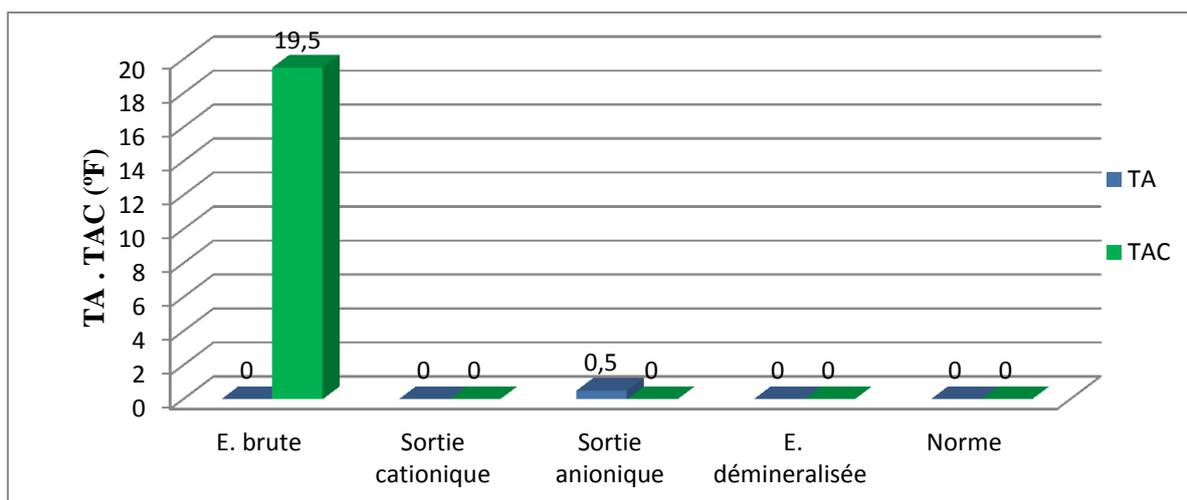


Figure V.31 : Évolution de l'alcalinité en fonction de l'eau traitée.

On constate une légère présence des ions OH^- et en carbonate CO_3^{2-} dans l'échantillon de l'eau brute avec une valeur moyenne de TAC de **19.6 F**.

Par contre, les valeurs obtenues de TA et TAC pour l'eau sortie anionique, apparaissent négligeable, qui est ensuite éliminée totalement par le lit mélangé ce dernier permet d'avoir un TA et TAC conformes aux normes.

7. Chlorures, les sulfates

La figure V.32 représente l'évolution des chlorures et des sulfates en fonction de l'eau traitée.

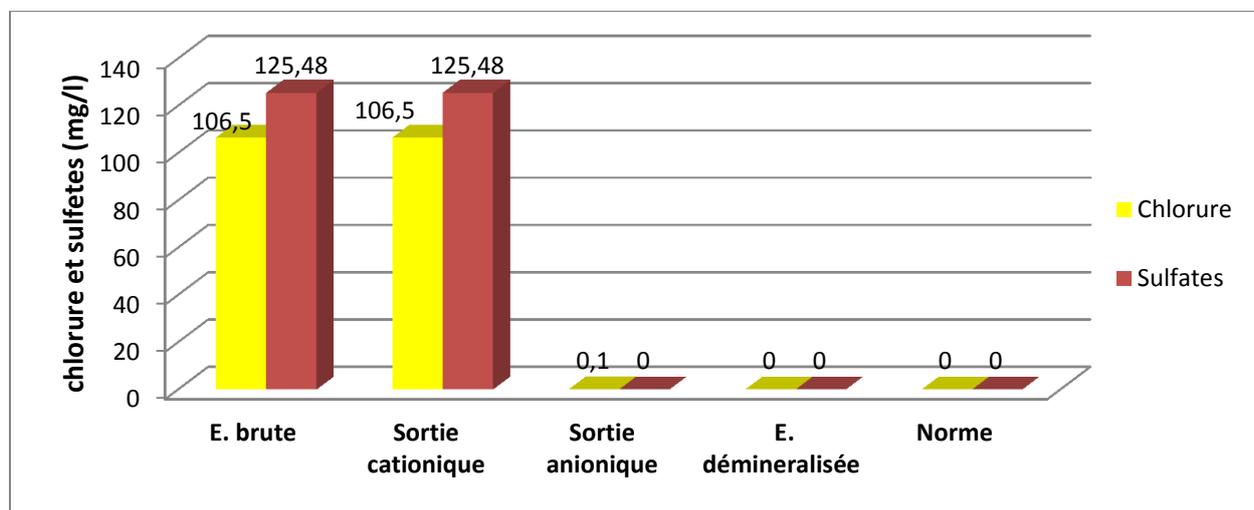


Figure V. 32 : Évolution de chlorure et les sulfates en fonction du l'eau traitée.

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentration variable dans les eaux naturelles, généralement sous forme des sels de sodium NaCl et de potassium KCl [21]. Comme nous sommes dans une zone côtière les chlorures constituent

une proportion importante **106.5mg/L** de la salinité facilement fixée au niveau de la résine anionique et puis totalement éliminés après passage par le lit mélangé.

On enregistre une concentration importante en sulfates dans l'eau brute, les origines naturelle de ces sulfates sont l'eau de pluie et la mise en solution de roches sédimentaires évaporitique notamment le gypse, mais également de la pyrite (FeS). Après traitement, les résultats montrent l'élimination des sulfates dans l'eau déminéralisée par lit mélangé.

8. Fer, cuivre et de la silice

La figure V.33 représente l'évolution du fer, cuivre et de la silice en fonction de l'eau traitée.

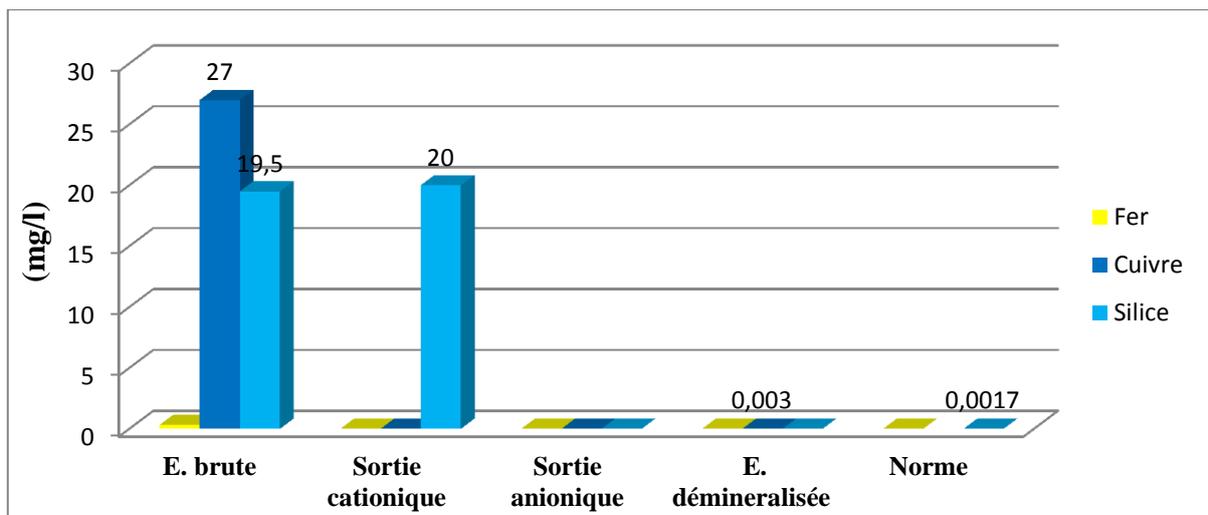


Figure V.33 : Évolution de du fer, cuivre et de la silice en fonction de l'eau traitée.

Le fer, le cuivre et la silice sont des éléments d'addition et d'alliage, leur analyse est nécessaire au niveau de la centrale, afin de prévenir la corrosion des installations. Le traitement de déminéralisation a permis leur totale élimination.

9. Phosphates, sodium et potassium

La figure V.34 représente l'évolution des phosphates, sodium, potassium en fonction de l'eau traitée.

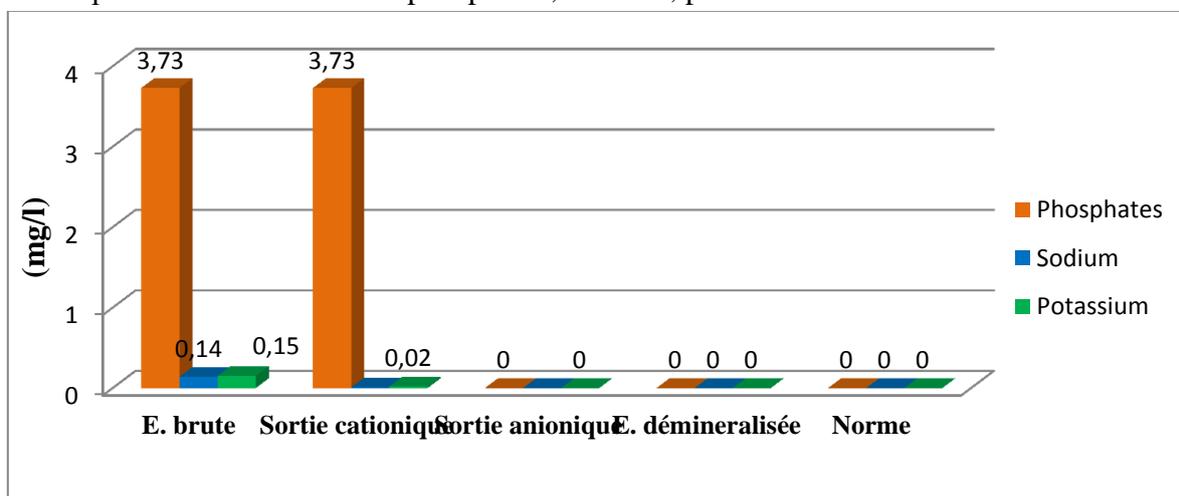


Figure V.34 : Évolution de phosphates, sodium et potassium en fonction de l'eau traitée.

L'eau de puits est chargée en faible quantité de sodium (Na^+), potassium (K) et de phosphates (PO_4^{-3}). Les résultats obtenus montrent que le procédé de déminéralisation par échange d'ions est suffisant pour les éliminer totalement.

V.5. Contrôle des échangeurs ioniques en fonction du temps

Cette partie consiste à contrôler le comportement des échangeurs ioniques depuis la première heure de production jusqu'à la saturation des résines. Les résultats obtenus sont enregistrée dans le (tableau V.13).

Interprétation des résultats

Le suivi physico-chimique des deux résine à intervalle de temps régulier, nous renseigne sur des variations importantes entre le début de cycle et le point de saturation, mais avec une relatif constante entre la 1^{er}, 3^{eme}, 5^{eme} et 7^{eme} heure pour l'échangeur cationique.

Ainsi nous pouvons voir le de Ph scendre à la sortie de l'échangeur cationique de **7.49** à **2.88** des 1^{ères} heures et stagner jusqu'à début de point de saturation.

Pour la conductivité qui passe de **1315 uS/cm** (formation des acide correspondent à la décationisation) reste constante jusqu'à point de saturation ou elle diminue **2810 uS/cm**, la même conclusion s'applique pour tous les autre cations.

Pour l'échangeur anionique la plus grande partie des anions sont échangée des 1^{ères} heures mais tout en contiennent à s'améliore ou cour des heures qui suivent (Cl^- , HCO_3^- , PO_4^{-2})

Par contre au point de saturation, la conductivité toujours basse **38 uS/cm** et le Ph est **10.30** donc nous indique que l'échangeur anionique n'est pas encore saturé contrairement au cationique ceci est due à la différence de volume.

Résine anionique : **20000 L**

Résine cationique ; **15000L**

V.6. Conclusion

Les analyses physico-chimiques ont permis le suivi de l'évolution de l'efficacité de la technique de déminéralisation adoptée à la centrale. Cela nous mène à dire que l'eau traitée est de bonne qualité, puisque elle est totalement déminéralisée, donc la station de déminéralisation fonctionne très bien.

Tableau V.13 : Analyse physico-chimique de l'eau cationique et anionique en fonction du temps.

Paramètre	Unités	Eau brute	Sortie cationique				Sortie anionique				
			3 ^{ere} h	5 ^{ere} h	7 ^{ere} h	Point de saturation	1 ^{ere} h	3 ^{ere} h	5 ^{ere} h	7 ^{ere} h	Point de saturation
pH	/	7.49	2.88	2.88	2.87	2.93	9.54	9.50	9.50	9.7	10.30
Température	°C	17	17.5	17.5	17.5	17.5	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3
Conductivité	µS/cm	1315	3375	3386	3387	2810	12.5	10.70	11.25	11.25	38
Salinité	g/l	0.6	1.8	2	2.1	2.1	00	00	00	00	00
Turbidité	NTU	8	0.52	0.52	0.46	0.83	0.35	0.35	0.32	0.16	0.71
TH	°F	14.6	00	00	00	00	00	00	00	00	00
TH _{Ca} ²⁺	mg/l	30	00	00	00	00	00	00	00	00	00
TH _{Mg} ²⁺	mg/l	16.4	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	106.5	106.5	106.5	106.5	106.5	4.05	2.50	1.03	0.1	17.75
TA	°F	00	00	00	00	00	2	2	1	0.5	2.2
TAC	°F	19.6	00	00	00	00	10	10	5	2.5	7
CO ₃ ²⁻	mg/l	00	00	00	00	00	12	12	6	3	13.64
HCO ₃ ⁻	mg/l	239.12	00	00	00	00	73.2	73.2	36.6	24.4	31.72
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/l	125.48	125.4	125.4	125.4	125.4	2.23	2	0.05	00	0.05
Phosphates (PO ₄ ³⁻)	mg/l	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73	0.47	0.27	0.05	00	0.43
Nitrite (NO ₂ ⁻)	mg/l	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	00	00	00	00	00
Nitrate (NO ₃ ⁻)	mg/l	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	0.110	0.042	0.011	00	0.973
Fer (Fe ³⁺)	mg/l	0.315	00	00	00	0.030	0.001	00	00	00	0.0015
Cuivre	mg/l	27	00	00	00	00	00	00	00	00	0.1
Silice (SiO ₂)	mg/l	19.5	19	20	20	20	0.014	0.013	00	00	0.1
Sodium (Na ⁺)	mg/l	0.14	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	00	00	00	0.01
Potassium (K ⁺)	mg/l	0.15	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	00	00	00	0.02

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

L'étude que nous avons effectuée à la centrale thermique de CAP- DJINET, nous a été bénéfique à plus d'un titre, parce qu'elle nous a permis d'appliquer en pratique les connaissances acquises en théorie et de côtoyer la réalité industrielle.

Elle nous a permis de maîtriser les différents traitements utilisables pour les eaux destinées à l'alimentation des chaudières et de mieux apprécier l'exploitation et la gestion des installations de traitement des eaux, ainsi que de comprendre les paramètres physico-chimiques qui influent sur la fiabilité des équipements.

D'après les analyses que nous avons effectuées sur l'eau traitée, on a constaté que L'eau a été complètement déminéralisée, dégazée et conforme à une eau d'alimentation d'une chaudière à haute pression.

La nouvelle station de déminéralisation de la centrale basée sur la technique d'échange d'ions a assuré une meilleure production d'eau de plus grande pureté, diminue les frais d'entretien et reste de loin plus performante du point de vue économique et entretien, ainsi que du point de vue qualité et quantité.

Enfin, on peut dire que l'utilisation de cette méthode de traitement a des avantages et des inconvénients par rapport au procédé de distillation parmi ces avantages la quantité d'eau produites qui plus grande, et un seul inconvénient c'est l'utilisation des grandes quantités des produits chimiques.

Bibliographie

Bibliographie

[1] : MAUREL Alain ; « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres »; expérience tunisienne, 2^{ème} édition 2006.

[2] : MEHDI Ghania, Formateur concepteur ; IFEG/ Ecole Technique de Blida, Développement : Laboratoire E –Learning ; 1^{er} Version, Octobre 2015.

[3]: <http://www.lenntech.fr/francais/eaux-souterraines/proprietes.htm#ixzz4ZV3P5cEz>.

[4] : Raymond des jardins, « Traitements des eaux », deuxième édition, revue, Edition de l'école polytechnique de Montréal 1999.

[5] : Notice technique sur les centrales thermiques. « Le traitement des eaux ». Fascicule N°10, 2^{ème} Edition, Avril 1970.

[6]: Best Water Technology, BWT group. « Déminéralisation sur résine» (les standards PERMO) , Service pub PERMO, 06-08, 2000.

[7] : Degrémont. « Mémento technique de l'eau ». 3^{ème} Edition 2013, Paris.

[8] : Jacques Mayet. « La pratique de l'eau ». 2^{ème} édition, 1994.

[9] : Valérie-Laforest, Jacques Bourgois, Robert Hausler. « Traitements physico-chimiques des déchets industriels liquides ». Technique de l'ingénieur, Doc. G2070v2.

[10] : Degrémont. « Mémento technique de l'eau ». 10^{ème} édition, Tome 1, Paris-2005.

[11] : Agence Française de Sécurité des Aliments, « Lignes directrices pour l'évaluation des échangeurs d'ions utilisés pour le traitement d'eau destinée à la consommation humaine ». Décembre 2009.

[12] : A-KETTAB « Traitement des eaux »,

[13] : Documentation interne de la centrale thermique de CAP-DJINET« archives ».

[14] : Notice technique sur les centrales thermiques de CAP-DJINET« Chaleur-Température Thermodynamique ».Fascicule N°2B, 2^{ème} Edition, Mars 1968.

[15] : Documente de centrale thermique « Station de déminéralisation, description de procédés et performances /DUC 10124.AA.I.S.001.1^{er} Edition 2009.

[16] : KWU. « Traitement des eaux» .Service de formation professionnelle, référenceN° 5504.

[17] : " Href=http://www.statcounter.com/free_hit_counter.html.

[18] : 'Rapport de Calculs' n° 10124AAIC001 / 0392FOGC*M004 / LRA GM 64414. 1^{er} Edition 2009.

[19] : Legrand et al. « Traitement des sites et sol pollués », territoriale P85. 1^{er} Edition 2006.

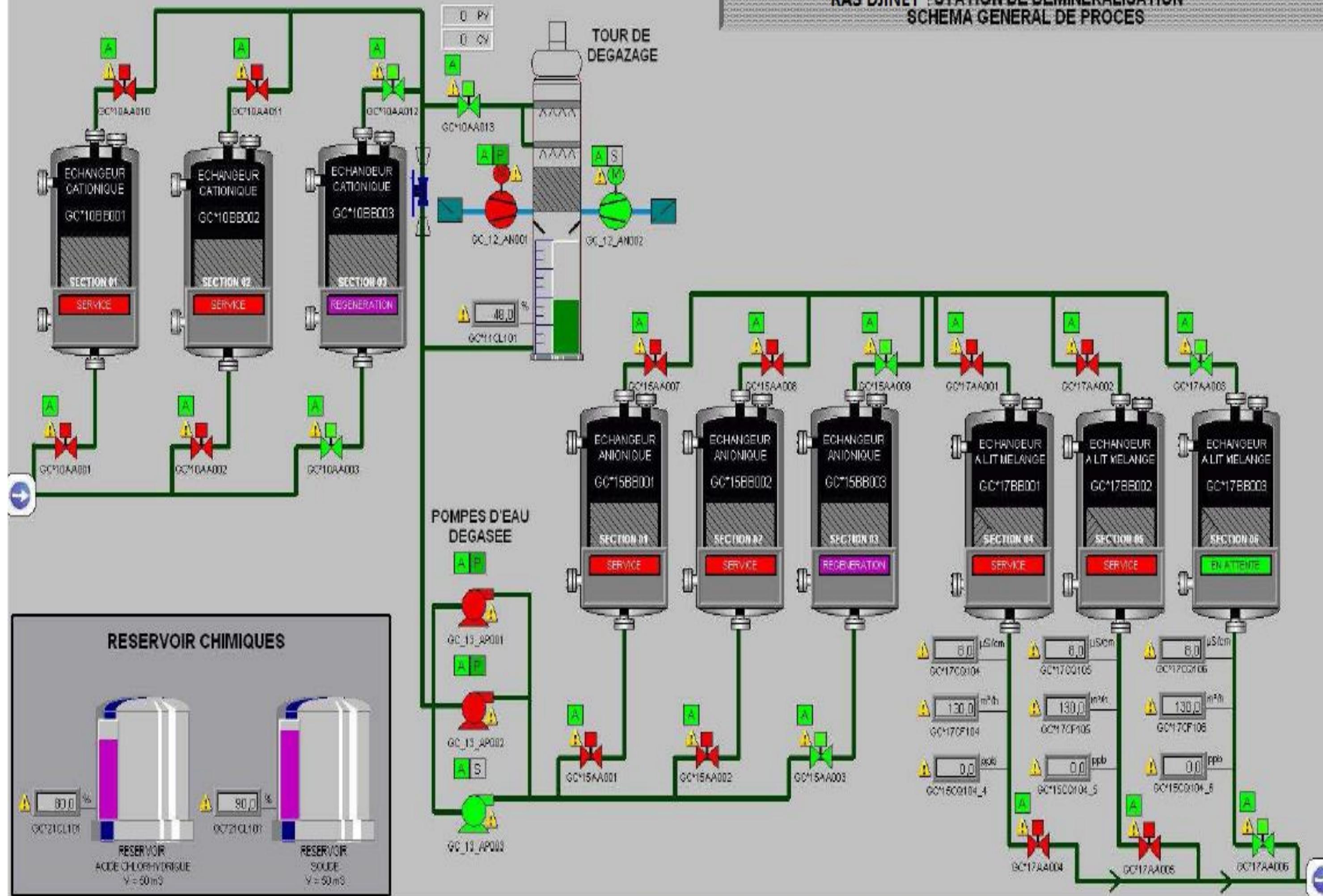
[20]: Jean Rodier. « L'analyse de l'eau, eaux naturelle, eaux résiduaires, eau de mer »9^{eme} Edition. Paris 2009.

[21] : A.MAUREL. « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtre » , Editin.2001.

[22] : Document spécifique de la centrale thermique « Analyse de l'eau et de vapeur ».

Annexe

RAS DJINET STATION DE DEMINERALISATION
SCHEMA GENERAL DE PROCES



Analyses physico-chimiques effectuées

Les analyses ont été effectuées selon les méthodes décrites par [20]

1. Mesure de pH

Notion

Le PH (potentiel hydrogène) est une unité de mesure pour la concentration de protons (ions H^+) d'une solution aqueuse, qui assume des valeurs de 1 à 14. Chaque substance inorganique soluble dissocie dans l'eau plus ou moins fortement en des cations chargés positivement et des anions chargés négativement [22]

Appareil

- pH mètre.

Electrode

- Electrode de pH.

Réactifs

- Tampons à différents pH (pH : 9, 7 et 2).

Mesure

Nous avons étalonné l'appareil à température ambiante, par la solution de $pH=7$ puis celle à $pH=9$ et enfin avec celle de $pH=2$, en rinçant l'électrode après chaque étalonnage.

On plonge l'électrode dans notre échantillon, on le laisse se stabiliser pendant quelques secondes ; et on prélève la valeur de pH .

Mode opératoire

a) Etalonnage de l'appareil

- Allumer le pH mètre (bouton rouge).
- Brancher l'électrode de pH.
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée.
- Vérifier l'électrode (niveau de la solution de KCl).
- Afficher la température ambiante.
- Prendre dans un petit bécher, la solution tampon $pH = 7$.
- Régler l'agitation à faible vitesse.
- Tremper l'électrode de pH dans la solution tampon $pH = 7$.
- Laisser stabiliser un moment.
- Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée.
- Ré étalonner de la même manière avec les solutions tampon $pH = 9$ et $pH = 4$.
- Puis rincer abondamment l'électrode avec l'eau distillée.

Annexes II

b) Dosage de l'échantillon

- Prendre environ **100 ml** d'eau à analyser.
- Mettre sous faible agitation.
- Tremper l'électrode dans le bécher.
- Laisser stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitation.
- Puis noter la valeur de pH.

2. Mesure de la conductivité

Notion [22]

La conductivité électrique est due à la dissociation électrique des acides, bases et sels dissous en des cations chargés positivement et des anions chargés négativement, Elle dépend de :

- La facilité avec laquelle les ions peuvent se mouvoir.
- La concentration des ions en solution (en méq/l).
- La température.

L'unité en micro siemens par centimètre ($\mu\text{s/cm}$).

Appareil

Conductimètre.

Mesure

Après la mise en marche de l'appareille et son étalonnage avec la solution de KCL de concentration connue.

- Nous plongeons l'électrode dans notre échantillon et on fait la lecture de la conductivité directement sur l'appareil en ($\mu\text{s/cm}$) ou en (ms/cm).
- Nous effectuons plusieurs mesures sur des échantillons différents du même site en rinçant la sonde à l'eau distillée après chaque mesure.

3. Mesure de la salinité

Notion

La salinité mesure la concentration en sel dissous : elle s'exprime en g/l. du fait que les quantités des sels dissous souvent très inférieures au gramme, l'unité communément utilisée est le mg/l ou encore la ppm chez les Anglo-Saxons.

Les salinités les plus basses se rencontrent au voisinage des pôles, la quantité de sels dissous augmente au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'équateur, elle peut dépasser 50 g/l dans certaines zones.

Mesure

Nous mettons le conductimètre sur le mode salinité puis on plonge les électrodes dans un flacon remplie d'eau à analyser et on procède à la lecture sur l'écran du conductimètre ce dernier permet d'afficher en parallèle la salinité et la température.

4. Mesure de la Turbidité

Notion

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, du fait de leur grande stabilité, elles n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres. Pour éliminer ces particules, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation.

Appareille

- Turbidimètre.

Mode opératoire

Remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyer avec du papier hygiénique avec l'échantillon à analyser bien homogénéisé et effectuer rapidement la mesure, il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure.

Expression des résultats

- La mesure est obtenue directement en NTU.

5. Mesure de température

Principe

La température est mesurée grâce à un thermomètre à mercure.

Mode opératoire

Le thermomètre est trempé dans le flacon juste après le prélèvement. Le résultat est donné directement en °C.

6. Détermination de titre hydrotimétrique TH

Définition

La dureté totale d'une eau ou titre hydrotimétrique **TH** est la somme des concentrations calcique et magnésienne.

Principe

Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe de type « chélate » par le sel disodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA), désigné sous le nom de « Complexe III ». Les dernières traces d'éléments libres à doser sont décelées par le

Annexes II

Le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'interfère pas lors du dosage, Lors du titrage, l'EDTA réagit tout d'abord avec les ions calcium libre, puis avec les ions combinés avec l'indicateur qui vire alors de la couleur rouge à la couleur bleu-violet.

Appareillage

- Bêcher de **250 ml**.
- Cylindre gradué de **100 ml**.
- Burette rapide.

Expression des résultats

- **1 ml** de Complexons III utilisé correspond à **4 mg/l** de **Ca²⁺** ou **1°f** de dureté calcique ou **0,2még/l**.

Réactifs

- Solution volumétrique de Complexon III « **Na₂H₂ (EDTA). 2 H₂O** » à 0,01 M.
 - Complexon III..... 3,722 g.
 - Eau distillée..... 1000 ml.
- Solution d'hydroxyde de sodium NaOH à 2 N.
 - NaOH (pastilles)..... 80 g.
 - Eau distillée..... 1000 ml.
- Indicateurs colorés: Murexide (mélangé 1:100 avec NaCl).

Mode opératoire

A l'aide d'un cylindre gradué, introduire 100 ml de l'échantillon à analyser dans un bêcher de 250 ml. Ajouter 2ml de la solution de NaOH et environ 0,2g de l'indicateur Murexide. Mélanger et doser immédiatement.

Ajouter la solution d'EDTA tout en continuant d'agiter. Verser lentement. Le virage est atteint lorsque la couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA. Soit V le volume d'EDTA versé.

Expression des résultats

1 ml de Complexon III utilisé correspond à **4 mg/l** de **Ca²⁺** ou **1°f** de dureté calcique ou **0,2 még/l**.

8. Détermination de titre hydrométrique magnésium THMg⁺²

La différence entre la dureté totale et la dureté calcique donne directement la dureté magnésium.

$$\text{THMg}^{2+} = \text{TH} - \text{THCa}^{2+}$$

9. Détermination de l'alcalinité

Annexes II

Définition

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des hydrogencarbonates HCO_3^- , carbonates CO_3^{2-} et hydroxydes OH^- .

- Le titre alcalimétrique (**TA**) mesure la teneur de l'eau en alcalis libre et en carbonates caustiques.
- Le titre alcalimétrique complet (**TAC**) mesure la teneur de l'eau en alcalis libres, carbonates et hydrogencarbonates.

Principe

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

Appareillage

- Bêcher de **250 ml**.
- Cylindre gradué de **100 ml**.
- Burette rapide.

Réactifs

- Acide chlorhydrique ou sulfurique 0,1 N.
- Solution alcoolique de phénolphtaléine à 0,5%.
 - Phénolphtaléine..... 5 g.
 - Alcool éthylique..... 500 ml.
 - Eau distillée..... 500 ml.
- Solution de méthylorange à 0,5%.
 - Méthylorange.....0,5 g.
 - Eau distillée.....100 ml.

Mode opératoire

a) Détermination des carbonates (TA)

Pour un prélèvement de 100 ml d'eau à analyser dans un bêcher, ajouter 2 gouttes de solution alcoolique de phénolphtaléine, une couleur rose doit alors se développer. Dans le cas contraire le TA est nul, ce qui se produit en général pour les eaux dont le pH est inférieur à **8,3**. Verser ensuite l'acide dans le bêcher à l'aide d'une burette en agitant constamment et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution (**pH=8,3**). Soit **V** le nombre de millilitres d'acide utilisés pour obtenir le virage.

b) Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC)

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration.

Annexes II

Ajouter 2 gouttes de solution de méthylorange et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'au virage du jaune au jaune orangé (**pH = 4,3**). S'assurer qu'une goutte d'acide en excès provoque le passage de la coloration du jaune orangé au rose orangé (**pH = 4**).

Soit **V'** le nombre de millilitres d'acide (**0,1 N**) versés depuis le début du dosage. Retrancher de ce volume **0,1 ml**, quantité d'acide nécessaire pour le virage de l'indicateur.

Expression des résultats

a) Pour TA :

- **V** exprime le titre alcalimétrique en milliéquivalents par litre.
- **5V** exprime le titre alcalimétrique en degrés français (en effet, **1°F** correspond à **10mg** de carbonate de calcium (CaCO_3) ou **0,2 meq/l**)

b) Pour TAC :

- (**V' - 0,1**) exprime le titre alcalimétrique complet en milliéquivalent par litre.
- (**V' - 0,1**).5 exprime le titre alcalimétrique complet en degrés français.

10. Détermination des HCO_3^- et CO_3^{2-} :

La connaissance du TA et du TAC permet le calcul des concentrations en :

- Hydroxydes OH^- .
- Bicarbonates HCO_3^- .
- Carbonates CO_3^{2-} .
- Si le TA et le TAC sont égaux, toute l'alcalinité est due aux hydroxydes.
- Si le TA est inférieur au TAC, des carbonates et des hydroxydes sont présents. Ceci veut dire que le TA est égal à tous les hydroxydes, plus la moitié des carbonates, et que le TAC est égal à tous les hydroxydes et tous les carbonates. Par conséquent :

$$\begin{cases} \text{TA} = [\text{OH}^-] + \frac{1}{2} [\text{CO}_3^{2-}] & \longrightarrow & [\text{OH}^-] = 2 \text{TA} - \text{TAC} \\ \text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] & \longrightarrow & [\text{CO}_3^{2-}] = 2 (\text{TAC} - \text{TA}) \end{cases}$$

- Si le TA est égal à la moitié du TAC, toute l'alcalinité est due aux carbonates.
- Si le TA est égal à moins de la moitié du TAC, des carbonates et bicarbonates sont présents. Ceci veut dire que le TA est égal à la moitié de l'alcalinité due aux carbonates, et que le TAC est égal à l'alcalinité due aux bicarbonates, plus l'alcalinité due aux carbonates. Par conséquent :

$$\begin{cases} [\text{CO}_3^{2-}] = 2 \text{TA} \\ [\text{HCO}_3^-] = \text{TAC} - 2 \text{TA} \end{cases}$$

- Si le TA est nul, le TAC est dû aux bicarbonates seuls. En résumé :

Annexes II

si	OH ⁻	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻
TA=TAC	TAC	0	0
TA>1/2 TAC	2TA-TAC	2(TA-TAC)	0
TA=1/2 TAC	0	TAC	0
TA<1/2 TAC	0	2TA	TAC-2TA
TA=0	0	0	TAC

11. Détermination des chlorures

Principe

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

Appareillage

- Erlenmeyer de 250 ml.
- Cylindre gradué de 100 ml.
- Burette.

Réactifs

- Acide nitrique pur.
- Carbonate de calcium pur.
- Solution de chromate de potassium à **10 %**.
- Solution de nitrate d'argent **N/10**.

Mode opératoire

Introduire 100 ml d'eau à analyser, préalablement filtrée, dans un erlenmeyer de 250ml. Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur puis une pincée de carbonate de chaux et 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10 %.

Verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 minutes. Soit **V** le nombre de millilitres de nitrate d'argent à N/10 utilisés.

Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 100 ml :

- **V×10×3,35** donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de **Cl-** par litre d'eau.

12. Détermination de sodium et de potassium

Principe

Le photomètre de la flamme est un des procédés les plus rapides et sensibles connus aujourd'hui pour le dosage des éléments alcalino-terreux.

Les éléments à analyse (sodium, potassium lithium...etc.) sont généralement sous forme de sels. L'analyse se fait en partant de leurs solutions.

Appareil

- Photomètre à flamme.

Réactifs

- Solution fille de sodium (Na^+) à **10mg/l**.
 - Solution mère de **NaCl** à 1 g/l.....1 ml.
 - Eau distillée..... 100 ml.
- Solution fille de potassium (K^+) à **10 mg/l**.
 - Solution mère de **KCl** à 1 g/l1 ml.
 - Eau distillée..... 100 ml.

Mode opératoire

- Il faut le suivre étape par étape :
- Allumer l'appareil à l'aide du bouton vert.
- Allumer la pompe.
- Ouvrir le robinet de la bouteille du gaz propane.
- Allumer la flamme.
- Aspirer de l'eau distillée remplie dans une cuvette.
- Appuyer sur la touche KONTROLL.
- Appuyer sur la touche Null-Zéro et attendre **5 à 10** minutes.
- Appuyer une **2^{ème}** fois sur la même touche (Null-Zéro) pour qu'elle s'allume.
- Retirer la cuvette d'eau distillée et la remplacer par une autre cuvette remplie par une solution étalon de (Na^+) ou de (K^+) à **10 mg/l**.
- Appuyer sur la touche STANDARD.
- Attendre qu'elle s'allume.
- Appuyer une **2^{ème}** fois sur la même touche et attendre qu'elle s'allume.
- Ensuite, appuyer sur la touche Analyse (il faut que la lecture donne une valeur de **10**).
- A la fin passer aux échantillons à analyser et appuyer seulement sur la touche Analyse
(3 essais pour chaque échantillon).

Annexes II

A la fin du dosage et par mesure de la sécurité, il faut toujours fermer la bouteille de gaz propane en premier lieu ensuite l'appareil et la pompe.

Expression des résultats

- Le résultat est donné directement en **mg/l**.

Rq : Avant de doser le sodium (**Na⁺**), il faut toujours vérifier les valeurs de la conductivité car cette dernière est proportionnelle à la dilution, c'est-à-dire plus que la conductivité est grande plus que la dilution du **Na⁺** est grande et vice versa. Alors pour le cas de **K⁺**, on ne fait pas la dilution sauf si la conductivité est grande

13. Détermination des sulfates

Principe

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum qui est stabilisé à l'aide d'une solution de Tween 20. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectrophotomètre à $\lambda = 650 \text{ nm}$.

Appareil

- Spectrophotomètre.

Réactifs

- Solution étalon de sulfates de sodium à **150 mg/l** de **SO₄²⁻** :
 - Solution de sodium anhydre **Na₂SO₄**.....0,221 g.
 - Eau distillée..... 1000 ml.
- Acide chlorhydrique à **10%**.
- Chlorure de baryum stabilisé :
 - Chlorure de baryum..... 10 g.
 - Solution de Tween 20 à 25%..... 20 ml.
 - Eau distillée..... 80 ml.

Mode opératoire

- Dans les fioles, introduire 39 ml de l'échantillon à analyser.
- Ajouter 1 ml d'acide chlorhydrique à 10%.
- Ajouter 5 ml de la solution de chlorure de baryum stabilisé.
- Agiter et laisser reposer pendant 15 mn.
- Agiter à nouveau et passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde $\lambda = 650 \text{ nm}$.

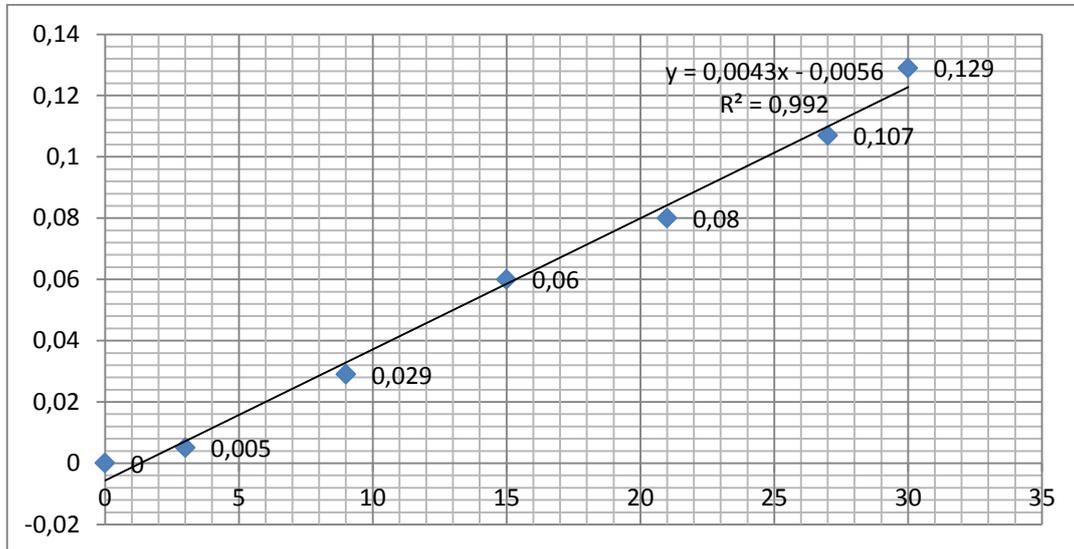
Faire une gamme d'étalon de la solution mère de sulfates [0-11] ml.

Annexes II

Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 39 ml, la courbe donne directement la teneur en sulfates exprimée en milligrammes de SO_4^{2-} par litre d'eau.

Courbe d'étalonnage



14. Détermination des phosphates

Principe

En milieu acide et en présence du molybdate d'ammonium, les ortho phosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrophotométrique.

Le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium. La mesure de l'absorbance de ce complexe se fait à l'un des deux maxima d'adsorption (une vers $\lambda = 700$ nm, l'autre plus importante à $\lambda = 880$ nm).

Appareil

- Spectrophotomètre.

Réactifs

- Acide ascorbique à **10 g/l**.
 - Acide ascorbique..... 10 g.
 - Eau distillée.....100 ml.
- Solution mère étalon à **50 mg/l** de PO_4^{2-}
 - KH_2PO_4 après séchage à 105°C 0,2197 g.
 - Eau distillée..... 800 ml.
 - Acide sulfurique à 7,5 mol/l..... 10 ml.

Annexes II

- Eau distillée..... 190 ml.
- Solution fille étalon à 1 mg/l.
 - Solution mère..... 20 ml.
 - Eau distillée..... 980 ml.
- Réactif mélangé :
(Réactif 1+ Réactif 3) + Réactif 2 = 500 ml (stable 2 mois).

Réactif 1

- Heptamolybdate d'ammonium.....13 g.
- Eau distillée.....100 ml.

Réactif 2 Tartrate de potassium et d'antimoine

- Hemihydraté..... 0,35 g.
- Eau distillée..... 100 ml.

Réactif 3

- Acide sulfurique 9 mole/l.....150 ml.
- Eau distillée.....150 ml.

Mode opératoire

a) Etablissement de la courbe d'étalonnage :

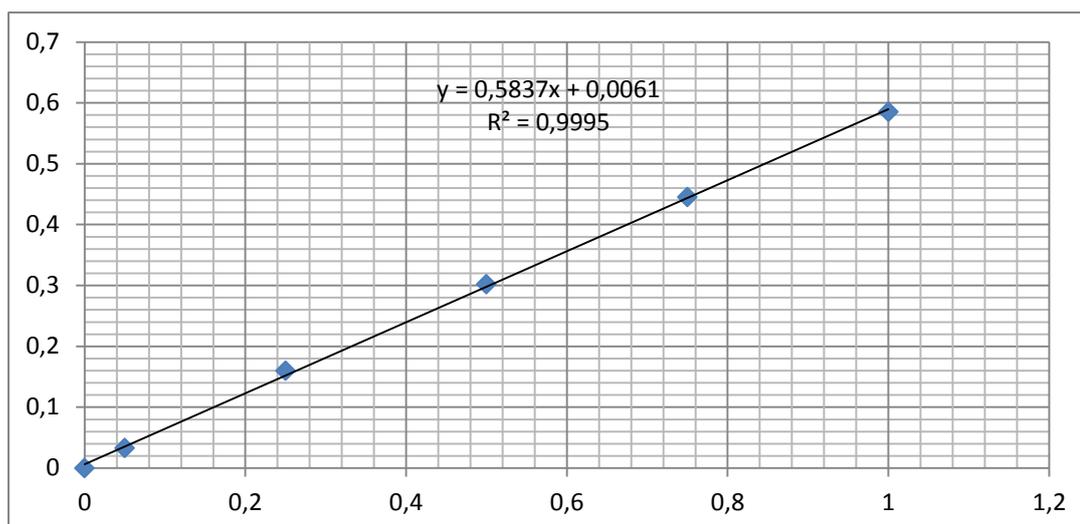
Introduire dans une série des fioles jaugée de 25 ml :

Numéro des fioles	T	1	2	3	4	5
Solution étalon de phosphore à 1 mg/l (ml)	00	01	05	10	15	20
Eau distillée	20	19	15	10	5	00
Correspondance de mg/l de phosphore	00	0.05	0.25	0.50	0.75	1

Introduire dans chaque fiole 1 ml de solution d'acide ascorbique, agiter puis ajouter 4 ml de réactif combinée, mélanger soigneusement, compléter éventuellement le volume à 25 ml, attendre 30 min pour la stabilisation de la coloration, et effectuer les mesures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 700 nm, et on construit la courbe d'étalonna

Courbe d'étalonnage :

Annexes II



b) dosage de l'échantillon

Dans un Erlenmeyer introduire :

- 40 ml d'eau à analyser.
- 1 ml d'acide ascorbique
- Ajouter 2 ml du réactif mélangé
- Laisser au repos pendant 10 minutes
- Effectuer les mesures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 700 nm.

Expression des résultats

- Le résultat est donné directement en mg/l.

15. Détermination des nitrites

Principe

Les ions nitrites réagissent en milieu acide (**pH= 4,9**) avec le réactif amino – 4 benzène sulfonamide (**NH₂C₆H₄SO₂NH₂**) en présence d'acide ortho phosphorique pour former un sel diazoïque donnant un complexe de coloration rose avec le dichlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane(C₁₂H₁₆C₁₂N₂) qui est dosé par spectrométrie à la longueur d'onde $\lambda = 540\text{nm}$.

Appareil

- Spectrophotomètre.

Expression des résultats

- Expression donnée la teneur en azote nitreux **N-NO₂** exprimée en **mg/l**. Pour obtenir la teneur en
- nitrite **NO₂**, multiplier ce résultat par **3,29**.

Réactifs

- Acide ortho phosphorique **H₃PO₄** (d=1,7).

Annexes II

- Solution d'acide phosphorique (utilisée si l'échantillon est coloré).
 - Acide phosphorique (80%).....25 ml.
 - Eau distillée150 ml.
 - Après refroidissement à la température ambiante, on complète avec l'eau
 - distillée jusqu'à 250 ml.

Conserver cette solution dans un flacon en verre brun. Elle est stable pendant 6 mois.

- Réactif coloré (réactif dangereux).
 - Amino-4 benzène sulfonamide20 g.
 - Mélange H₃PO₄ (d= 1,7)..... 50 ml.
 - Eau distillée.....250 ml.
 - Di chlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino 1,2 éthane.....1 g.
 - Eau distillée..... 500 ml.

Conserver cette solution dans un flacon en verre brune. Elle est stable pendant 1 mois, si elle est conservée entre 2 et 5°C.

- Solution mère étalon en d'azote nitreux (NO₂-) à **100 mg/l**.
 - Nitrites de sodium (NaNO₂)..... 0,492g.
 - Sécher à 150 °C pendant 2 heures.
 - Eau distillée..... 1000 ml.

Conserver cette solution dans un flacon en verre brun. Elle est stable pendant 1 mois si elle est conservée entre 2 et 5°C.

- Solution fille étalon d'azote nitreux (NO₂) à **1 mg/l** (préparer cette solution chaque jour avant emploi).
 - Solution mère1 ml.
 - Eau distillée.....100 ml.
- Solution de nettoyage (toute la verrerie doit être soigneusement lavée avec une solution d'acide chlorhydrique (d= 1,12 mg/l, à 25%) et rincée abondamment à l'eau distillée).

Mode opératoire

Etablissement de la courbe d'étalonnage

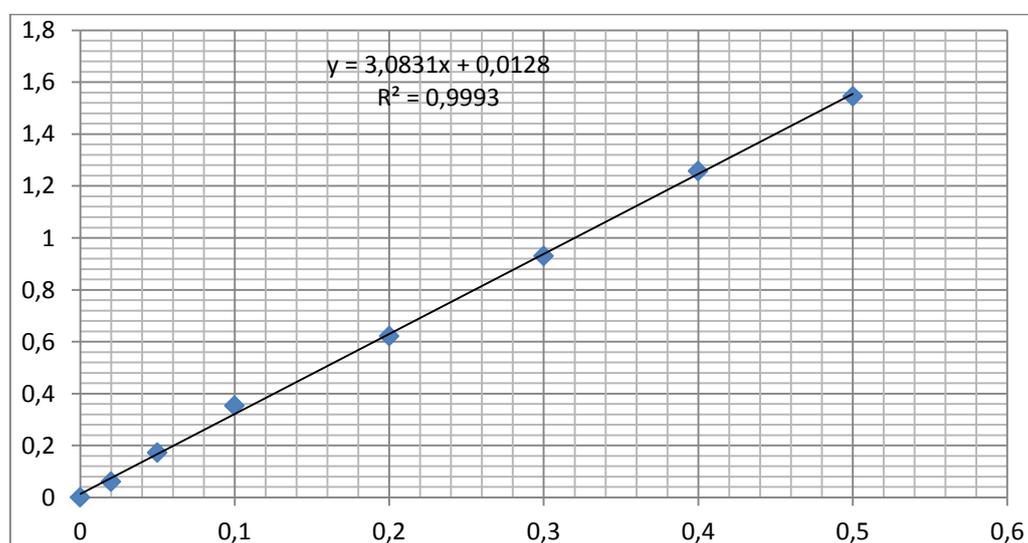
Dans une série des fioles jaugées de 50 ml et numérotées, introduire successivement :

Annexes II

Numéro de fiole	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Solution étalon fille à 1mg/L	0	0.4	0.8	1.2	2	4	6	8	10
Eau distillée (ml)	40	39.6	39.2	38.8	38	36	34	32	30
Réactif coloré (ml)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Correspondance en mg/l [N-NO ₂]	0	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25

Effectuer les mesures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 540 nm, et construire la courbe d'étalonnage.

Courbe d'étalonnage :



Dosage de l'échantillon

- Dans un Erlenmeyer introduire :
- 40 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 1ml du réactif coloré.

Homogénéiser immédiatement en faisant tourbillonner et compléter à 50ml. Le pH doit être égal **1,9**.

- Laisser reposer 20 mn.
- Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de $\lambda = 540 \text{ nm}$

16. Détermination des nitrates

Principe

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosionate de couleur jaunesusceptible d'un dosage colorimétrique.

Appareil :

- Spectrophotomètre.

Effectuer les mesures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 415 nm,

Réactifs

- Solution de salicylate de sodium à **0,5 g** dans 100 ml.
- Solution d'hydroxyde de sodium **30 g** dans 50 ml.
- Acide sulfurique concentré H₂SO₄.
- Tartrate double de sodium et de potassium :
 - Hydroxyde de sodium NaOH.....80 g.
 - Tartrate de sodium et de potassium.....12 g.
 - Eau distillée..... 200 ml.

Laisser refroidir avant de compléter à 200ml, cette solution doit être conservé dans un flacon de polyéthylène.

- Solution mère d'azote d'origine nitrique à **100 mg/1**.
 - Nitrate de potassium anhydre..... 0,722 g.
 - Eau distillée.....1000 ml.
 - Chloroforme.....1 ml.
- Solution fille d'azote d'origine nitrique à **5 mg/1**.
 - Solution mère 50 ml.
 - Eau distillée..... 1000 ml.

Mode opératoire

Etablissement de la courbe d'étalonnage

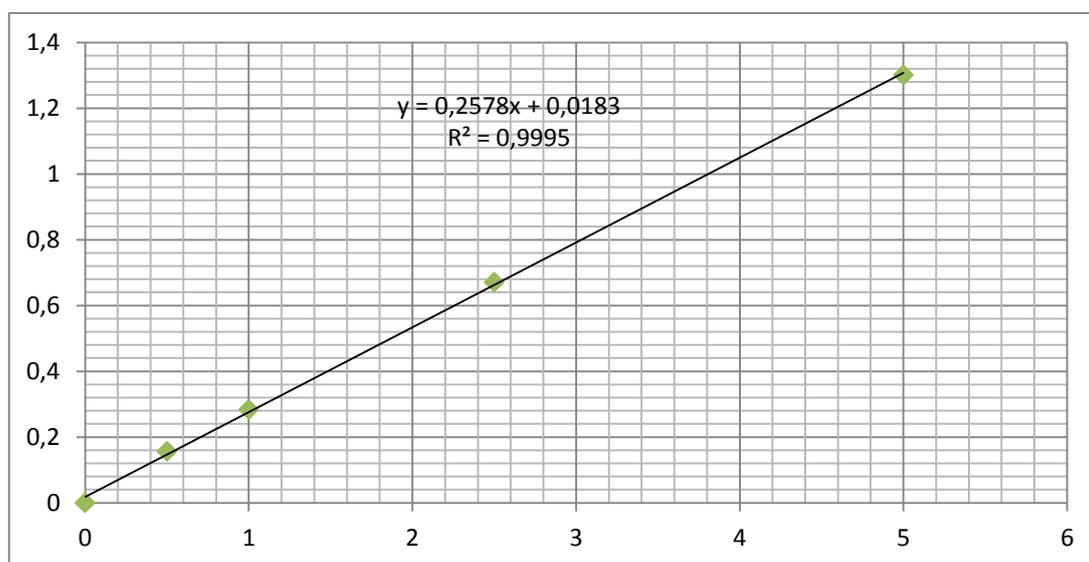
Dans une série de capsule de 60 ml, introduire successivement :

Effectuer les mesures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 415 nm, et construire la courbe d'étalonnage.

Annexes II

Numéro de capsule	1	2	3	4	5
Solution étalon fille à 5 mg/L	0	1	2	5	10
Eau distillée (ml)	10	9	8	5	0
Solution de salicylate de sodium	1	1	1	1	1
Correspondance en mg/l [N-NO ₂]	00	0.5	1	2.5	5

Courbe d'étalonnage :



Dosage de l'échantillon

Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser. Dans une capsule de 60 ml, ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30%. Ensuite 1 ml de salicylate de sodium. Evaporer à sec au bain marie ou dans une étuve **75 – 88 °C** (ne pas surchauffer ni chauffer très longtemps). Laisser refroidir à température ambiante, puis reprendre le résidu pour 2 ml de H₂SO₄.

Ajouter successivement 15 ml d'eau distillée. Ajouter 15 ml de tartrate double (qui développe la couleur jaune) puis passer au spectrophotomètre. Effectuer la lecture des absorbances à la longueur d'onde de $\lambda = 415 \text{ nm}$.

Expression des résultats

- Le résultat est donné directement en mg/l.

16. Détermination du fer

Appareil

- Spectrophotomètre.
- Cuve de 10 mm.

Annexes II

Expression des résultats

- Le résultat est donné directement en mg/l.

Réactifs

- **Réactif A** : Dans une fiole de 100 ml mettre :
 - Acétate d'ammonium..... 40 g.
 - Acide acétique..... 50 ml.
 - Eau distillée.....50 ml.
- **Réactif B** : Dans une fiole de 100 ml mettre:
 - Chlorure d'hydroxyde ammonium..... 20 g.
 - Eau distillée..... 100 ml.

Réactif C : Dans une fiole de 100 ml mettre :

- Chlorure de phénantroline..... 20 g.
- Eau distillée..... 100 ml.

Réactif D :

- Acide chlorhydrique à 25 %.

Mode opératoire

Dans un erlenmeyer de 100 ml mettre :

- 20 ml d'eau à analyser.
- 0,1 ml d'acide chlorhydrique HCl à 25%.
- 2 ml de réactif A.
- 1 ml de réactif B.
- 2 ml de réactif C.

Mélanger et laisser 15 minutes puis passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde de $\lambda = 500 \text{ nm}$ et un facteur de **2,00**. Pour l'échantillon témoin : 20 ml d'eau déminéralisée + les réactifs.

17. Détermination du cuivre

Appareil

- Spectrophotomètre.
- Cuve de 10 mm.

Longueur d'onde de $\lambda = 435 \text{ nm}$ et un facteur de **1,33**

Réactifs

- **Réactif A** : Dans une fiole de 100 ml mettre :
 - Acide ascorbique..... 20 g.
 - Eau distillé..... 100 ml.

Annexes II

- **Réactif B** : Ammoniaque 10 %.
- **Réactif C** : Dans une fiole de 100 ml mettre :
 - Chlorure d'ammonium..... 20 g.
 - Eau distillé..... 100 ml.
- **Réactif D** : Chloroforme.
- **Réactif E** : Dans une fiole de 100 ml mettre :
 - Diethyl-dithiocarbanat de sodium 1 g.
 - Eau distillé..... 100 ml.

Mode opératoire

Dans une ampoule à décanter mettre :

- 100 ml d'eau à analyser.
- 1 ml de réactif A.
- 2 ml de réactif B.
- 0,5 ml de réactif C.
- 10 ml de réactif D.

Agiter pendant 5 minutes et jeter la phase organique. Ajouter ensuite 1 ml de réactif E et 10 ml de réactif D, agiter pendant 5 minutes et filtrer la phase organique et passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde de $\lambda = 435 \text{ nm}$ et un facteur de **1,33**. Pour l'échantillon témoin : réactif D.

Expression des résultats

Le résultat est donné directement en mg/l.

18. Détermination de la silice

Appareil

- Spectrophotomètre.
- Cuve de 10 mm.

Réactifs

Réactif A : Dans une fiole de 250 ml mettre :

- Molybdate d'ammonium..... 6,75 g.
- Acide sulfurique pur..... 13 ml.
- Eau distillée..... 237 ml.

Réactif B : Dans une fiole de 250 ml mettre :

- Acide oscalique ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$)..... 25 g.
- Eau distillée..... 100 ml.

Réactif C : Dans une fiole de 250 ml mettre :

Annexes II

- Sulfate de fer ammoniacal..... 3 g.
- Acide sulfurique pur..... 3 ml.
- Eau distillée..... 247 ml.

Mode opératoire

- Dans une éprouvette en polystyrène mettre :
- 25 ml d'eau à analyser.
- 1 ml de réactif A, attendre 10 minutes.
- 1 ml de réactif B, attendre 2 minutes.
- 1 ml de réactif C, attendre 2 minutes.

Passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde de $\lambda = 800 \text{ nm}$ et un facteur de **3,50**.

Pour l'échantillon témoin : 25 ml d'eau déminéralisée + les réactifs.

Expression des résultats

Le résultat est donné directement en mg/l.