

Dédicaces

Nous dédions ce modeste travail à :

Nos très chers parents

Nos frères et sœurs

Nos familles

Tous nos amis.

Remerciement

Au nom du dieu clément et miséricordieux louage à dieu le grand merci lui revient de nous avoir aidés à élaborer ce travail.

Nos sincères remerciements s'adressent :

A nos très chers parents pour leurs sacrifices, patience et surtout leur amour

A notre encadreur monsieur KADDOUR Mohamed chef de service de la zone d'utilités 01 pour sa disponibilité en dépit de ses obligations nombreuses, sa large expérience à laquelle il nous a profité et ses précieux conseils qu'il n'a cessé de prodiguer le long de l'élaboration de ce travail.

Nos plus sincères remerciements vont également à MOULAY

A tous le personnel de la zone d'utilités 01, du département technique et du laboratoire

Nos vifs remerciements s'adressent aussi à Mr BECHIKH chef de service de la zone d'utilités 02.

A notre encadreur au niveau de l'université madame Nawel moussa

A l'ensemble du personnel ayant contribué de près ou de loin au bon déroulement de notre cycle d'études.

Résumé

Le souci majeur d'une industrie est de concevoir des installations performantes et une production répondant aux normes.

ce qui nous a amené à étaler notre réflexion sur l'étude de l'unité de déminéralisation de la zone « utilité 1 » constitué de deux évaporateurs suivi par trois colonnes a lit mixte , et la substitution des évaporateur par une chaine de déminéralisation , nous avons tout d'abord déterminé la nouvelle chaine et ce par le calcul des nouveaux volumes des résines échangeuses d'ions ainsi que les quantités de régénérant nécessaires à la régénération des nouveaux volumes de résines calculés.

Par la suite nous avons effectué une étude technico économique sommaire à l'effet d'estimer le cout de production d'eau déminéralisée par le système actuelle et le système proposé et démontrer que le procédé d'échange d'ions demeure plus avantageux sur le plant économique et la qualité de produit.

ملخص :

الشغل الرئيسي للصناعة هو تصميم المنشآت والإنتاج الفعال الذي يفي بالمعايير

مما أدى بنا إلى نشر تفكيرنا في دراسة وحدة إزالة المعادن في المنطقة "المنفعة 1" التي تتكون من مبخرين متبوعين بثلاثة أعمدة مختلطة ، واستبدال المبخر بسلسلة لإزالة المعادن لقد حددنا أولاً السلسلة الجديدة من خلال حساب الكميات الجديدة من راتنجات التبادل الأيوني وكميات التجديد اللازمة لتجديد الكميات الجديدة من الراتنجات المحتسبة بعد ذلك ، قمنا بإجراء دراسة تقنية اقتصادية موجزة لتقدير تكلفة إنتاج المياه المنزوعة المعادن بواسطة النظام الحالي والنظام المقترح ولإثبات أن عملية التبادل الأيوني تظل أكثر فائدة في السوق المصنع الاقتصادي وجودة المنتج

Summary:

The major concern of an industry is to design efficient installations and production that meets standards.

which led us to spread our reflection on the study of the demineralization unit of the zone "utility 1" consisting of two evaporators followed by three mixed-bed columns, and the substitution of the evaporator by a demineralization chain We first determined the new chain by calculating the new volumes of ion exchange resins and the amounts of regenerant needed to regenerate the new volumes of resins calculated.

Subsequently, we carried out a summary technical-economic study to estimate the cost of production of demineralized water by the current system and the proposed system and to demonstrate that the ion exchange process remains more advantageous on the market. Economic plant and product quality.

Table des Matières

Liste des abréviations.....	I
Liste des tableaux	II
Liste des figures	III
Annexe	VI
Introduction générale.....	01
Chapitre I: présentation de la raffinerie d'Arzew.....	03
I.1. Introduction.....	03
I.2. Historique	03
I.3. situation géographique	03
I.4. Capacité de traitement.....	03
I.3. présentation des unités de production.....	04
I.3.1 Département de production P1.....	04
I.3.2. Département de production P2.....	06
I.3.3 Département de production P3.....	06
I.3.4. Département de production P4.....	07
I.3.5. Laboratoire de contrôle.....	08
I.4. Présentation de la zone 3 (utilités).....	08
I.4.1. Unité 31 (production de la vapeur et de l'électricité).....	08
I.4.2. Unité 32 (production de l'eau distillée).....	10
I.4.3 Unité 33 (tour de refroidissement).....	10
I.4.4. Unité 35 (Réception et distribution du fuel gaz).....	11
I.4.5. Unité 36 (Production d'air service et d'air instrument).....	11
I.4.6. Unité 37 (Production du gaz inerte).....	11
Chapitre II: Méthodes d'obtention d'eau ultra pure	13
II.1 Définition de l'eau	14
II.2. les type d'eaux.....	14
II.2.1. eaux naturelle	14
II.2.1.1 eau de pluie	14

II.2.1.2 eaux de surfaces	14
II.2.1.3 eaux de souterrain.....	14
II.2.1.4 eaux de mers	15
II.2.2 eaux de consommation	15
II.3 propriété de l'eau.....	15
II.3.1 propriétés physique	15
II.3.1.1 masse volumique	16
II.3.2 Propriété thermique	16
II.3.2.1 la chaleur massique	16
II.3.2.2 la chaleur latente	16
II.3.2.3 la viscosité	16
II.3.2.4 Tension superficielle	16
II.3.3 propriété électrique.....	17
II.3.3.1 constant diélectrique	17
II.3.3.2 conductivité électrique	17
II.3.4 caractères chimique	17
II.3.4.1 l'eau solvant	17
II.3.4.2 ionisation.....	17
II.3.4.1 oxydoréduction.....	17
II.3.5 caractéristique physico-chimique.....	18
II.3.5.1 potentielle d'hydrogène.....	18
II.3.5.2 titre	18
II.3.5.3 la salinité totale	19
II.3.5.4 solubilité des gaz dans l'eau	19
II.3.5.5 cations et anions.....	19
II.4 définition de l'eau ultra pure.....	21
II.5. Les différentes méthodes d'obtention d'eau ultra pure.....	21
II.5.1. La distillation.....	21
II.5.2. Microfiltration et l'ultra filtration	21
II.5.3. l'osmose inverse.....	21
II.5.4 l'échange d'ion.....	22

II.6 prétraitement de l'eau	22
II.7 combinaison d'échangeur d'ion	23
Chapitre III: Les échangeurs d'ion	
III.1 Historique.....	27
III.2 principe	27
III.3 support.....	28
III.4 L'échange d'ion.....	30
III.5 les type de résine.....	30
III.5.1.résine inerte	30
III.5.1.1 les types de résine inerte	30
III.5.2 résine fonctionnalisé.....	31
III.5.2.1 échangeurs cationique.....	32
III.5.2.2 échangeurs anionique	33
III.6. Propriétés générales des résines.....	34
III.6.1. Le taux de r�tication.....	34
III.6.2. Capacité d'échange.....	34
III.6.3. Gonflement et stabilité osmotique.....	34
III.6.4. la masse volumique.....	35
III.6.5. Granulométrie.....	35
III.7. Le mécanisme d'échange.....	35
III.7.1. Mécanisme.....	35
III.7.2. Sélectivité des ions.....	36
III.7.3. Réactions.....	36
III.8. Méthodes de régénération.....	37
III.8.1. Régénération à co-courant.....	37
III.8.2. Régénération à contre-courant.....	37
III.9 domaine d'application	37
Chapitre IV : Etude et suivi de l'installation de déminéralisation de zone	
IV.1 Etude de l'installation.....	37
IV.1.1. Description de l'installation	38
IV.1.2. Fonctionnement.....	39
IV.1.3. Régénération.....	40

IV.3. Analyse de l'eau.....	43
IV.4. Inconvénients dus aux impuretés de l'eau dans la chaudière.....	47
IV.4.1. Incrustations.....	47
IV.4.2. Primage.....	48
IV.4.3. Entraînement par la vapeur de composés minéraux volatils.....	48
Chapitre V: Calcul de la nouvelle capacité de traitement	
V.1. Calcul de l'installation.....	52
V.1.1. Calcul des nouveaux volumes de résine.....	54
V.1.1.1 le lit cationique	54
V.1.1.2 le lit anionique	56
V.1.1.3 le lit mixte.....	57
V.1.2. Calcul des quantités des régénérant.....	57
V.1.2.1 l'acide sulfurique.....	58
V.1.2.2 la soude caustique.....	58
V.1.3. Calcul des eaux de service.....	59
V.4. Evaluation économique.....	60
Conclusion.....	62
Recommandations.....	63
Annexe.....	64
Bibliographie.....	66

AM	Echangeur d'anions moyennement ou faiblement basique.
AF	Echangeur d'anions fortement basique.
CM	Echangeur de cations moyennement ou faiblement acide.
CF	Echangeur de cations fortement acide.
DEG	Dégazeur atmosphérique.
DUC CM +CF	Superposés dans la même colonne.
DUA AM+AF	Superposés dans la même colonne.
IN	Résine inerte.
LM	Lit mixte mélangé AF+CF.
TR	Triobed AF+IN+CF.
Q	Débit de production.
S	Salinité éliminée par heure.
t	Temps de production
C	Capacité d'échange.
Va	Volume de résine anionique.
Vc	Volume de résine cationique.
BV	Volume du lit.

Liste des tableaux

Tableau 01 : les capacités annuelles de la production de la raffinerie d'Arzew.....	04
Tableau 02 : les phases de régénération des lit mixte.....	42
Tableau 03 : données de base.....	52
Tableau 04 : analyse de l'eau KAHRAM.....	53
Tableau 05 : analyse de l'eau distillée de l'évaporateur B101	54
Tableau 06 : cout de la régénération du lit mixte.....	60
Tableau 07 : cout de la régénération de la chaine de déminéralisation calculé.....	61
Tableau 08 : cout de production d'eau déminéralisée par distillation	61

Liste des figures

Figure 01 : plant de la raffinerie RA1/Z.....	05
Figure 02 : Représentation des différentes combinaisons d'échangeurs d'ions.....	25
Figure 03 : les principaux supports d'un échangeur d'ion.....	28
Figure 04 : photographie d'une coupe d'un lit de billes de résine de type gel	30
Figure 05 : résine échangeuse cationique.....	31
Figure 06 : résine échangeuse anionique.....	32
Figure 07 : Schéma de l'unité de déminéralisation (utilités 01).....	37
Figure 08 : Schéma détaillé d'une colonne.....	39
Figure 09 : Schéma d'une crépine.....	39
Figure 10 : L'évolution de la conductivité de l'eau brut	44
Figure 11 :L'évolution de la conductivité de l'eau distillée de l'évaporateur B102.....	45
Figure 12 : L'évolution de la conductivité du retour des condensats.....	46
Figure 13 : Chainage permettant l'obtention d'eau déminéralisée.....	51

Liste des annexes

Annexe 1 : Nomographe pour la détermination de la capacité utile de la résine cationique...63

Annexe 2 : Graphes pour la détermination de la capacité utile de la résine anionique64

Introduction générale

L'eau est une donnée de l'univers sans laquelle la vie n'aurait pas existé. Les gens ont besoin de l'eau constamment, pour vivre, se laver, pour l'industrie...

L'industrie pétrolière a eu rôle majeur dans les grands événements de ces dernières années, Vu que l'utilisation du pétrole en l'état est difficile, le raffinage a pour but et fonction de fractionner et transformer des pétroles bruts d'origines diverse en un ensemble de produits répondants aussi bien que possible à la demande du marché.

Le raffinage du pétrole s'effectue dans des installations spécifiques nécessitant toujours l'apport d'énergies qui leur parviennent sous forme de courant électrique, de vapeur, d'eau de refroidissement et d'air comprimé.

L'ensemble de ces services dans la raffinerie a reçu la dénomination «d'utilités» indispensables à son bon fonctionnement.

En effet, le maintien ou l'amélioration de la performance de l'outil de production passe par la maîtrise des qualités d'eau aux différents points d'application. la production d'eau en qualité ou en quantité impacte fortement sur l'efficacité et la performance des installations.

La raffinerie d'ARZEW est alimentée en eau brute à partir de la station « KAHRAMA ». Cette eau, doit préalablement et nécessairement être traitée avant d'être refoulée aux chaudières pour la production de vapeur nécessaire au fonctionnement des équipements. Notre étude se rapporte donc à la « **chaîne de déminéralisation** » de la Zone 3 (Utilités) attenante à la raffinerie d'ARZEW.

Cette unité permet de produire une eau totalement déminéralisée d'une conductivité inférieure à 1 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ répondant aux normes et exigences requises pour l'alimentation des chaudières.

Nous avons commencé par la présentation de la Raffinerie d'ARZEW, la zone 3 (utilités) où se situe la chaîne de déminéralisation suivie par des généralités sur les différentes méthodes d'obtention d'une eau déminéralisée suivi par un aperçu théorique sur le principe du procédé de l'échange ionique. Par la suite, il a été procédé à la description de notre chaîne de déminéralisation et son fonctionnement.

Tels sont les différents chapitres que nous avons jugés utiles de présenter à travers ce mémoire comportant l'ensemble des éléments de base qui nous ont permis d'apporter une conclusion générale en fin de cette étude.

Chapitre I

Présentation de la raffinerie d'Arzew (RA1Z)

I.1- Introduction :

Une raffinerie de pétrole est l'usine où l'on procède au fractionnement du pétrole, ce qui permet d'obtenir une très grande variété de produits gazeux (propane et butane), liquides (essences, gas-oil et fuel) et même solide (bitume).

La raffinerie d'Arzew est le troisième important complexe pétrochimique en Algérie Elle répond aux impératifs suivants:

- Traiter le pétrole brut de Hassi Messaoud ;
- Traiter le brut réduit importé (BRI) pour la production des bitumes.

I.2- Historique :

La raffinerie d'Arzew, par sa diversité de production se classe au premier rang des complexes pétrochimiques édifiés sur le territoire national.

Elle a été implantée dans le cadre du premier quinquennal 1970-1973 par la société Japon Gazoline Company (JGC) et s'est étendue par extension de ses unités de production des bitumes en 1975 et ses unités de lubrifiants en 1984. Issue de la restructuration de la société SONATRACH, la raffinerie d'Arzew est gérée par la société NAFTEC depuis 1987.

I.3- Situation géographique :

La raffinerie d'Arzew est située dans la zone industrielle sur le plateau D'El Mahgoun à deux Kilomètres de la ville d'Arzew et à environ 40 Kilomètres de la ville d'Oran.

Elle occupe une superficie de 170 hectares répartis comme suit:

- 150 hectares correspondants aux anciennes installations construites entre 1970 et 1973 ;
- 20 hectares correspondant aux installations construites en 1984 et elle se situe au voisinage du port d'Arzew lui permettent les enlèvements par bateau des produits finis.

I.4- Capacité de production :

Le complexe RAI/Z traite 2.5 millions Tonnes/an de pétrole brut acheminé du Sahara par pipeline et plus de 280.000 Tonnes/an de brut importé.

Elle répond aux exigences suivantes:

- Traitement de BHM (Brut de Hassi Messaoud) ;
- Satisfaction des besoins de consommation du marché national, en carburant, lubrifiants et bitumes ;
- Exploration des produits excédentaires (naphta, kérosène, fuel, gasoil, huile).

La production annuelle en produits différents est donnée par le tableau (I-1).

Tableau .1 : La capacité de production de la raffinerie d'Arzew 2019

Types de produits	Produits	Quantités (Tonne/an)
carburant	Propane	15000
Carburant	Essence super	70000
	Essence normale	490000
	Naphta	160000
	Kérosène	120000
	Gas-oil	980000
	Fuel BTS (Léger)	550000
	Fuel GTS (Lourd)	70000
Lubrifiant	Lubrifiants	160000
	Graisses	7000
	Paraffines	4000
Bitume	Bitumes routiers	120000
	Bitumes Oxydés	20000



Figure .1 : Plant de la raffinerie RA1

I.3. Présentation des unités de production

I.3.1. Département de production P1

Les installations du département P1 sont celles construites en 1970. Elles produisent les carburants, les lubrifiants et les bitumes. Ces installations sont constituées de :

1. Zone 03 (Utilités)

Source d'énergie, ses unités approvisionnent la raffinerie en: eau distillée, vapeur, électricité, eau de refroidissement, gaz inerte, air services et instruments. Il comprend les unités suivantes :

- ❖ **Unité 31** : Production de la vapeur et de l'électricité.
- ❖ **Unité 32** : Production de l'eau distillée.
- ❖ **Unité 33** : Circuit d'eau de refroidissement.
- ❖ **Unité 34** : Station de pompage.
- ❖ **Unité 35** : Réception et distribution du gaz combustible.
- ❖ **Unité 36** : Production de l'air instrument et de l'air service.
- ❖ **Unité 37** : Générateur du gaz inerte (azote).
- ❖ **Unité 67** : Réseau incendie.

2. Zone 04 (Carburants) : Elle comprend les unités suivantes :

- ❖ **Unité 11** : Unité de distillation atmosphérique « **Topping** »

Cette unité à une capacité de 3,8 millions de tonnes est calculée pour produire ce qui suit à partir du brut de Hassi-Messaoud

- GPL.
- LSRN (naphta léger).
- HSRN (naphta lourd).
- LGO (gazole léger).
- HGO (gazole lourd).
- BRA (brut réduit atmosphérique) : Cette unité se subdivise en 2 sections :
 - Section principale de fractionnement
 - Section de stabilisation des gaz de tête

- ❖ **Unité 12** : Unité de platforming.
- ❖ **Unité 13** : Séparation des gaz « Gas Plant ».
- ❖ **Unité 17** : Isomérisation des paraffines légères.
- ❖ **Unité 65**: La torche.

3. Zone 07 (Production des huiles de base) : elle a pour objectif de produire les huiles de base à partir du brut réduit atmosphérique provenant de l'unité 11 de la zone 4. Elle comprend les unités suivantes :

- ❖ **Unité 21** : Distillation sous vide.
- ❖ **Unité 22** : Désasphaltage au propane.
- ❖ **Unité 23** : Extraction au furfural des aromatiques.
- ❖ **Unité 24** : Déparaffinage au MEC-Toluène.
- ❖ **Unité 25** : Hydrofinishing.

4. Zone 10 (Production des bitumes)

Vu la faible teneur en asphalte dans le brut algérien les bitumes sont fabriqués à partir d'un brut réduit importé c'est-à-dire un brut qui a déjà subi une distillation atmosphérique, c'est le résidu à cette première opération qui va servir à cette production. Cette zone est composée de deux ensembles :

- ❖ **Unité 14** : Bitumes routiers
- ❖ **Unité 15** : Semi-blowing (bitume oxydé)

I.3.2. Département de production P2

En 1978, suite aux besoins importants en lubrifiants, la réalisation d'un ensemble de production de 120 000 tonnes/an d'huile de base fut lancée. Il comprend trois Zones :

1. Zone 19 (Utilités) : Elle comprend les unités suivantes :

- ❖ **Unité 1100** : Production de la vapeur
- ❖ **Unité 1200** : Production de l'électricité.
- ❖ **Unité 1300** : Tour de refroidissement
- ❖ **Unité 1400** : Fuel gaz
- ❖ **Unité 1500** : Unité d'air comprimé

- ❖ **Unité 1600** : Production de l'eau distillée
- ❖ **Unité 1700** : La torche
- ❖ **Unité 280** : Production de gaz inerte (azote)

2. Zone 05 (Lubrifiants) : Elle comprend les unités suivantes :

- ❖ **Unité 100** : Distillation sous vide
- ❖ **Unité 200** : Désasphaltage au propane
- ❖ **Unité 300** : Extraction des aromatiques
- ❖ **Unité 150** : HOT OIL
- ❖ **Unité 160** : Traitement des eaux acide
- ❖ **Unité 400** : Déparaffinage au MEC-Toluène
- ❖ **Unité 500** : Hydrofinishing
- ❖ **Unité 600** : Hydrotraitement de la paraffine

I.3.3. Département de production P3

Une nouvelle réorganisation des départements de production a ajouté un troisième département qui comprend les zones suivantes :

1. Zone 06 (Production des huiles finies)

Elle est conçue pour le mélange et le conditionnement des huiles finies à partir des huiles de base fabriquées dans cette 1re chaîne de production. Les mélanges des huiles de base sont réalisés avec des additifs pour améliorer leurs caractéristiques. Le lubrifiant est conditionné dans des fûts de 200 litres.

La gamme de lubrifiants se compose de : huile pour moteur, huile industrielle, huile de graissage, huile hydraulique, huile de coupe, graisses industrielles.

2. Zone 3000 (les huiles finies)

À pour but de fabriquer des huiles finies par l'addition aux huiles de base des additifs chimiques, et leur conditionnement dans des fûts métalliques de 200 L, un emballage

divisionnaire en PEHD de contenance 5 L et 2 L, ainsi que la fabrication des graisses et leur conditionnement dans des sceaux de 16 kg et des boîtes de 1 kg.

Elle comporte les unités suivantes :

- ❖ **Unité 3100 (Production des huiles finies)**
- ❖ Unité 3200: Préparation et conditionnement des graisses.
- ❖ Unité 3300 : Conditionnement des paraffines.
- ❖ Unité 3400, 3500, 3600 : Assurent le conditionnement des huiles finies.
- ❖ Unité 3900 (Production des huiles finies).

I.3.4. Département de production P4

1. Zone 28 (stockage et expédition)

C'est une zone de stockage des matières premières, des mélanges d'expéditions et des produits semi-finis et finis, ainsi que le pétrole brut.

2. Zone 30 (chargement de produits finis)

Cette zone est spécialisée dans le chargement des carburants (essences, gazole...) dans les camions.

3. Zone 27 (Unité 1800) – (Station de traitement des effluents) :

I.3.5. Laboratoire de contrôle

Durant toutes les étapes de raffinage au niveau des différentes unités, les produits brut semi-finis et finis soumis selon un programme bien défini à un plan contrôle de qualité rigoureux au niveau du laboratoire.

Avant tout transfert ou expédition des produits finis, un certificat de qualité attestant la conformité de ce produit aux spécifications arrêtées est établi.

Le laboratoire contrôle aussi la qualité des eaux, les rejets et procède aux analyses des différents échantillons spéciaux.

I.4. Présentation de la zone 03 (utilités)

Pour le bon fonctionnement d'une raffinerie de pétrole, les installations de production ont besoin de vapeur, électricité, eau de refroidissement, eau distillée, air instrument et air service ainsi de gaz inerte.

L'eau utilisée au niveau de la zone d'utilités est une eau brute qui provienne de la station de dessalement KAHRAMA où cette eau sera stockée dans le bac T602 d'une capacité de 12000 m³, en cas de coupure de cette dernière une réserve est assurée par le bac T603.

La zone 03 comporte 7 majeures unités :

- ❖ **Unité 31** : Production de la vapeur et de l'électricité.
- ❖ **Unité 32** : Production de l'eau distillée.
- ❖ **Unité 33** : Circuit d'eau de refroidissement.
- ❖ **Unité 34** : Station de pompage.
- ❖ **Unité 35** : Réception et distribution du gaz combustible.
- ❖ **Unité 36** : Production de l'air instrument et de l'air service.
- ❖ **Unité 37** : Générateur du gaz inerte (azote).

I.4.1. Unité 31 (production de vapeur et d'électricité)

L'unité 31 comporte 3 chaudières H1, H2, H3 dont deux sont identiques H1 et H2, elles produisent chacune 62 t/h max de vapeur à une pression de 50 Kg/cm² à une température de 430 °C, la troisième chaudière H3 produit une capacité maximale de 124 t/h, elle est prévue pour remplacer les deux anciennes chaudières.

Les chaudières utilisent le fioul gaz comme combustible.

Une des principales propriétés de l'eau à l'état liquide, c'est son pouvoir solvant élevé vis-à-vis des éléments minéraux et organiques et des gaz, ainsi elle se charge de toutes sortes de substances au cours de son cycle dans la nature.

Le problème de l'alimentation en eau d'appoint des chaudières consiste à étudier deux éléments essentiels pour déterminer le mode de traitement envisagé :

- **L'alcalinité** : elle conditionne le phénomène de primage qui se traduit par un entraînement des gouttelettes d'eau avec la vapeur au-delà de la chaudière.

- **La salinité** : elle est liée aux conséquences du primage, elle doit être limitée pour diminuer au maximum les risques d'entraînement des sels dans la vapeur.

En conclusion un mauvais traitement d'eau d'alimentation de chaudière crée des perturbations causées par les phénomènes de l'entartrage, le primage et la corrosion suivant la composition des impuretés.

Actuellement la raffinerie utilise de l'eau distillée qui est obtenue par condensation de la vapeur produite par ébullition d'eau brute dans les évaporateurs.

Bien que l'eau distillée ne contienne pas d'impuretés dans la plupart des cas, elle contient des gaz dissous.

Afin d'éliminer ses gaz dissous cause majeurs de la corrosion dans la chaudière, l'eau distillée doit être conditionnée avant d'alimenter cette dernière.

Le conditionnement se fait suivant les étapes suivantes :

- **Traitement thermique** : consiste en un dégazage thermique pour éliminer CO₂ et O₂ en présence de la vapeur à basse pression.
- **Traitement chimique** : c'est un complément du dégazage thermique, il consiste à injecter un réducteur d'O₂ le (Na₂SO₃) dans le but d'éliminer les traces d'oxygène qui en reste après le traitement thermique.

I.4.2. Unité 32 (production de l'eau distillée)

Elle est constituée de deux évaporateurs et une chaîne de déminéralisation.

- **L'évaporateur 32B101** : de type MSF (Multi Stage Flash) à 5 cellules, débité de 120 m³/h d'eau brute pour produire 30 à 40 m³/h d'eau distillée.
- **L'évaporateur 32B102** : de type MED-TVC (Multi Effect Distillation- Thermal Vapour Compression) à 4 cellules, débité de 200 m³/h d'eau brute pour produire 40 à 50 m³/h d'eau distillée.

La capacité totale de production de ses deux évaporateurs est de 80 T/h.

- **Chaîne de déminéralisation (Mixbed):**

L'eau distillée produite dans les évaporateurs B101 et B102 (avec une conductivité <10 µs/cm) subit une déminéralisation en passant par des filtres à résines échangeuse d'ions **32F1 A/B/C**.

Ces filtres sont des colonnes à lits mixtes, récemment installée pour éliminer les traces des sels provenant des deux évaporateurs et des condensats de retour des zones, la conductivité de l'eau déminéralisée ($<1 \mu\text{s/cm}$).

I.4.3. Unité 33 (tour de refroidissement)

Le circuit d'eau de refroidissement de la raffinerie d'ARZEW est de type semi-ouvert.

L'eau de refroidissement sert à extraire la chaleur du procédé (échange thermique) et à refroidir les équipements.

L'unité 33 de la raffinerie d'Arzew dispose d'une tour de refroidissement 33E101 d'une capacité de circulation de 5200m³/h ou l'eau chaude arrive à une température de 42°C et part à une température de 27°C.

- Un bassin qui recueille l'eau froide.
- garnissage qui comprend un système de distribution d'eau.

I.4.4. Unité 35 (réception et distribution du fuel gaz)

L'unité 35 est destinée à réceptionner le gaz naturel en provenance de R.T.O riche en méthane et l'excédent du gaz de la raffinerie en provenance de la Zone 4.

Les deux gaz sont mélangés dans un ballon à 4 bars pour les distribués à la fin dans les zones de production comme combustibles des fours et des chaudières.

I.4.5. Unité 36 (production d'air service et d'air instrument)

La production de l'air se fait à l'aide d'un ensemble des compresseurs à différents types (centrifuges, à piston, à vis).

- L'air service est fourni directement à partir du ballon tampon 36D1.
- L'air instrument pour les organes de contrôles passe à travers un sécheur à base de silicate d'aluminium Al₂SiO₃ dans le but d'éliminer l'humidité qui se trouve dans ce dernier afin d'éviter une condensation dans les instruments a toute température.

I.4.6. Unité 37 (production du gaz inerte)

Cette unité est dotée d'un générateur à membrane qui a pour tâche de produire de l'azote à une pureté de 99,99%.

Il est constitué des éléments suivants :

- **Séparateur** : son rôle est de séparer l'air comprimé des condensats et les traces d'huile qui se trouve dans ce dernier.
- **Filtre à air** : il assure le dépoussiérage de l'air comprimé.
- **Sécheur** : son rôle est d'éliminer les traces d'eau restantes dans l'air en utilisant un adsorbant qui est l'alumine activée.
- **Réchauffeur électrique** : Après le traitement de purification de l'air, l'air entre dans le réchauffeur électrique, pour assurer une température constante (40-55°C), car le système de séparation de membrane fonctionne dans certaines conditions de température.
- **Membranes** : Le mélange de deux ou plusieurs gaz à travers la membrane macromoléculaire provoque les différentes vitesses de perméabilité relatives aux différents gaz dans la membrane(en raison de différence sur le taux de dilution et le coefficient de diffusion de différents gaz dans la membrane). Selon cette caractéristique, les gaz sont divisés en "gaz rapide" et "gaz lent", pour atteindre l'objectif de la séparation des gaz mélangés. La pression est une condition obligatoire dans ce processus, la pression différentielle de part et d'autre de la membrane pour séparer le gaz mélangé.

Chapitre II

Généralité sur les eaux et méthode d'obtention d'une eau

ultra pure

L'eau quelque soit son origine et quelque soit son usage domestique ou industriel, il doit subir un traitement avant et après utilisation, tout en répondant à des normes bien définies. Certaines industries sont exigeantes quant à la qualité de l'eau utilisée. Parmi ces industries on citera : l'industrie agroalimentaire, textile, chimie.

II.1. Définition de l'eau

L'eau est un liquide transparent, incolore, insipide, c'est un corps composé de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène (H₂O). L'eau bout à 100°C à la pression atmosphérique et solidifié à 0 °C. Sur la terre ; l'eau est la seule substance qu'on trouve dans ses trois phases à l'état naturelle : Solide (glace, neige) ; liquide (eau liquide) et gazeux (vapeur d'eau). [13]

II.2. Les types d'eau :

La classification des eaux diffère d'une référence à une autre, quelques-unes les classifient suivant l'origine ; quelques auteurs parlent même des eaux de pluies, d'autres s'intéressent à l'utilisation des eaux. [8]

II.2.1. Eaux naturelle

II.2.1.1. Eaux de pluie

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine. Elles sont saturées d'oxygène et d'azote et ne contiennent aucun sel dissous comme les sels de magnésium et de calcium, elles sont donc très douces. Dans les régions industrialisées, les eaux de pluie peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques. [13]

II.2.1.2. Eau de surface

On peut répartir l'eau de surface en trois catégories : eaux de rivières (partie amont), eaux de rivière (partie aval), et les eaux de lac. [13]

II.2.1.3. Eaux souterraines

Elles sont souvent de meilleures qualités que les eaux de surface.

Leurs teneurs en matière organiques dépendent du chemin suivi par les eaux d'infiltration qui alimentent les nappes souterraines.

Les caractéristiques principales de ces eaux sont présentées ci-dessous

- Turbidité faible
- Contamination bactérienne faible
- Indice de couleur faible
- Dureté élevée
- Concentration élevée de fer et de manganèses

II.2.1.4. Eaux de mers

Les eaux de mers sont une source d'eau brute qu'on utilise lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Les eaux de mer sont caractérisée par leur concentration en sel dissous ; c'est ce que appel salinité.

La salinité de la plupart des eaux de mer varie dans un intervalle de 33000 à 37000 mg/l. [13]

II.2.2. Eaux de consommation :

Elles peuvent provenir de sources, de nappes souterraines ou de rivières. Cette eau doit répondre à des critères réglementaires stricts. Claire, sans odeur ni saveur, elle ne doit contenir aucun microbe, germe ou parasite, ni aucune substance à des concentrations toxiques (nitrate, plomb, arsenic, cyanure, hydrocarbures, pesticides etc...). Sa composition en sels minéraux est extrêmement variable d'une région à l'autre, mais il est possible de la connaître en s'adressant aux mairies ou préfectures.

Souvent polluée au départ, cette eau doit être traitée pour devenir potable. Si les traitements qu'elle subit (filtration, désodorisation, chloration...) sont efficaces du point de vue de la sécurité alimentaire, ils confèrent souvent à l'eau du robinet un goût désagréable et il est impossible de choisir sa qualité minérale [14].

II.3. Propriétés de l'eau.

II.3.1. propriétés physiques

Les propriétés physique plus particulièrement intéressent pour le traitement de l'eau sont les suivant [4] :

II.3.1.1 Masse volumique :

Par tassement de l'édifice moléculaire, la masse volumique varie avec la température et la pression on observe un maximum à 4.08°C sous la pression de 1 bar à 3,8 °C sous 4bar et à 3.4°C sous 10 bars [4].

La masse volumique de l'eau pur à 15°C à la pression atmosphérique est 0.9990 Kg/dm³, celle des eaux naturelles varie avec la teneur des substances dissoute. [4]

L'eau de mère, de salinité 35g /dm³ à une masse volumique moyenne de 1 ,0281 Kg/dm³, à 0°C; une variation de salinité de 1g /l fait varies la masse volumique de 0.0008 Kg /dm³. [4]

II.3.2. propriété thermiques

II.3.2.1. la chaleur massique

4180 j/ (kg. °C) à 0 °C elle varie avec la température en présentant un minimum à plus 35°C [4].

II.3.2.2. les chaleurs latentes

De transformation sont cours la fusion : 330 KJ/kg ou 73Kcal/Kg ; pour la vaporisation 2250 kJ/kg ou 539 Kcal/kg a la pression normale et 100°C [4].

L'importance de la chaleur massique et de la chaleur latente de vaporisation fait que les grand étendue d'eau a la surface de la terre constituent de véritable volent thermique c'est également la raison de l'utilisation de l'eau dans l'industrie comme fluide caloporteur [4].

II.3.2.3. La viscosité

C'est la propriété qu'un liquide d'opposé une résistance aux divers mouvements soit interne soit globaux comme l'écoulement [4].

Elle est à la base des pertes de charge et joue un rôle important en traitement d'eau. Elle diminue lorsque la température croit [4].

II.3.2.4. tentions superficiel

Elle caractérise une propriété propre aux interfaces (surface limitant deus phases).

Elle est définit comme une force de fraction qui s'exerce a la surface de liquide en tendant toujours la réduire le plus possible l'étendue de cette surface [4].

II.3.3. propriété électrique

II.3.3.1. constant diélectrique

La constante diélectrique ϵ ; de l'ordre de 80 et l'une des plus élevée que l'on connaisse ; c'est pourquoi l'eau possède un pouvoir ionisant très important [4].

II.3.3.2. conductivité électrique

L'eau est légèrement conductrice et son comportement est régi par la classique loi d'Ohm.

La conductivité de l'eau la plus pure que l'on ait obtenu est :

$K = 4.2 \cdot 10^{-6}$ S/m à 20°C (correspondant à une résistivité de 23.8 mégohm-centimètre)

Elle augmente lorsque des sels sont dissous dans l'eau et elle varie en fonction de la température [4].

II.3.4 Caractères chimiques

II.3.4.1. L'eau solvant

Dissoudre un corps c'est détruire sa cohésion laquelle est due à des forces électrostatiques ou coulombiennes qui peuvent être :

- **Interatomiques** : forte liaison chimique
- **Intermoléculaires** : liens de cohésion entre molécules (liaisons hydrogène)
- **De faibles forces attractives** (London, Van der Waals) qui assurent la liaison générale de l'ensemble. [4]

II.3.4.2. Ionisation

On constate, lors de certaines mises en solution, par exemple de sels minéraux, l'apparition de propriétés électriques particulières ; conductivité du liquide, possibilité d'électrolyse, etc.

Elles s'expliquent par la dissociation au moins partielle des molécules en constituants simples électriquement chargés : **cation** et **anion**. [4]

II.3.4.3. Oxydoréduction

Les phénomènes d'oxydoréduction présentent une grande importance dans toutes les technologies de l'eau. L'eau elle-même peut participer, suivant des conditions expérimentales

et selon certaines réactions chimiques comme un donneur d'électrons (elle est réductrice) ou un accepteur d'électrons (elle est oxydante).

II.3.5 Caractéristiques physico-chimiques

II.3.5.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH correspond à la concentration d'ions hydrogène. Il mesure l'acidité ou la basicité d'une eau. Le pH interfère avec d'autres paramètres de la qualité dans les complexes réactions chimiques : dureté, alcalinité, turbidité, conductivité.

On peut définir le pH d'une solution par la relation [11] :

$$\text{pH} = -\log [H_3O^+]$$

Le pH est une grandeur sans dimension. La concentration des ions oxonium s'exprime en mol.l^{-1} . On peut aussi écrire la relation :

$$[H_3O^+] = 10^{-\text{pH}}$$

II.3.5.2. Titres

Pour les ions majeurs, qui constituent l'essentiel des composants d'une eau naturelle, Les titres (exprimés en meq.l^{-1} Ou en °F) regroupent un ensemble d'ions.

$$1 \text{ °f} = \frac{1}{5} \text{ de milliéquivalent}$$

✓ Titre hydrotimétrique (TH)

Appelé aussi dureté totale, le titre hydrotimétrique mesure l'ensemble des ions alcalinoterreux, c'est-à-dire essentiellement les ions calcium et magnésium (Ca^{2+} et Mg^{2+})

Le titre hydrotimétrique calcique (ou TH calcique), qui ne mesure que la teneur en ion calcium, est parfois distingué du titre hydrotimétrique magnésium (ou TH magnésien), qui ne mesure que la teneur en ions magnésium.

Le TH se mesure par méthode volumétrique.

✓ Titre alcalimétrique complet (TAC)

Ce titre mesure l'ensemble des anions suivants :

- Hydroxyde des bases libre OH^-
- carbonate CO_3^{2-}
- Hydrogénocarbonate HCO_3^-

- Hydrogéno silicate $HSiO_3^-$

- ainsi que deux des trois valences des ions ortho phosphate (PO_4^{3-}). On peut alors écrire :

$$TAC = [OH^-] + [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-] + [HSiO_3^-] + (2*[PO_4^{3-}])/3$$

✓ Titre alcalimétrique simple (TA)

Ce titre mesure la totalité des bases libres, une des deux valences des ions carbonates et une des trois valences des ions ortho phosphate. On peut ainsi écrire :

$$TA = OH^- + ([CO_3^{2-}] / 2) + ([PO_4^{3-}] / 3)$$

II.3.5.4. La salinité totale

La salinité totale est la somme de toutes les concentrations des substances minérales dissoutes dans l'eau. Il existe de nombreuses sources de minéralisation (sédiment de roches, argiles, sable,...). La notion de salinité est importante particulièrement pour les eaux de mer et certaines eaux industrielles, en effet elle permet de procéder à un choix optimal du traitement d'ionisation [12].

II.3.5.5. Solubilité des gaz dans l'eau

L'eau contient toujours des gaz dissous dont les concentrations dépendent notamment de la température ainsi que de la composition et de la pression de l'atmosphère gazeuse avec laquelle elle est en contact. La loi d'HENRY appliquée à la solubilité des gaz dans l'eau pure, pré voit que, la concentration dissoute d'un composé gazeux dans l'eau est directement proportionnelle à la pression partielle de ce composé dans la phase gazeuse au contact avec de l'eau [13].

II.3.5.6. Cations et anions

Les eaux douces, qu'elles soient d'origine souterraine ou superficielle sont plus ou moins minéralisées par des sels naturels. Il est souvent très important de connaître précisément cette minéralisation en plus des indications données par les paramètres globaux de type « titre » et « potentiel ». Par ailleurs, certains des cations et anions minéraux naturels présents dans les eaux sont considérés comme indésirables ou toxiques selon l'usage auquel l'eau douce est destinée (domestique, agricole, industriel, santé, tourisme, refroidissement...) [13].

✓ Le Calcium (Ca^{2+})

L'ion calcium est le composé principal de la dureté de l'eau, il se trouve en général à une concentration de 5-500mg/l exprimé en $CaCO_3$ (2-200mg en Ca^{2+})[14]

✓ Le Magnésium (Mg^{2+})

La dureté magnésienne de l'eau représente ordinairement le tiers de la dureté totale, les deux tiers restants correspondent à la dureté calcique, sa valeur est de 10 à 50 mg/l (environ 40-200 mg /l en $CaCO_3$)[14].

✓ Les Bicarbonates (HCO_3^-)

L'ion de bicarbonate est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. On le trouve souvent à une concentration de 5-500 mg/L exprimée en $CaCO_3$ [14]

✓ Le Chlore (Cl^-)

Puisque tous les sels du chlore sont très solubles dans l'eau, le chlore est fréquent dans Les réserves d'eau douce à un taux de 10 à 100 mg /l [14].

✓ Les nitrates et les nitrites

Ces paramètres sont des indicateurs pertinents de la dégradation des ressources en eau utilisée pour la production d'eau potable. La présence de nitrates dans l'eau d'alimentation peut avoir plusieurs origines :

- Une origine liée aux activités humaines (rejets industriels, agricoles et urbains) ;
- une origine naturelle dans la mesure où les nitrates résultent des transformations de :

✓ La silice (SiO_2)

La silice peut exister dans les eaux sous deux états différents : soluble et colloïdal. La silice soluble dans les eaux naturelles et majoritairement sous forme d'hydroxyde de silice ($SiOH_4$), elle tend à se polymériser et à donner des colloïdes. Les silicates sont peu Solubles dans l'eau et se présentent à des pH élevés, supérieurs à 10. Leur teneur dans l'eau varié de 1 à 50 mg/l [15] .

✓ Le Fer

Le fer est l'un des métaux les plus abondants dans la croûte terrestre. Il se trouve dans l'eau douce naturelle à des niveaux allant de 0,5 à 50 mg /litre. Le fer peut également être présent dans l'eau de boisson à la suite de l'utilisation de coagulants de fer ou de la corrosion de l'acier

et des tuyaux en fonte pendant la distribution de l'eau. Le fer présent dans l'eau potable est un élément essentiel dans la nutrition humaine [15].

II.4. Définition de l'eau ultra pure

L'eau ultra pure est l'eau qui approche au mieux les niveaux théoriques de la pureté en termes de résistivité, concentrations en matières organiques, particules et bactéries. Ce niveau de pureté peut être obtenu par différentes techniques qui peuvent parfois être combinées [3].

II.5. Les différentes méthodes d'obtention d'eau ultra pure

Il existe plusieurs techniques, les plus connues sont :

II.5.1. La distillation

La distillation est un processus bien connu dans lequel l'eau est chauffée jusqu'à évaporation et la vapeur condensée est recueillie.

Cette méthode permet d'obtenir des eaux apyrogènes mais elle est coûteuse et nécessite beaucoup d'énergie.

II.5.2. La Microfiltration et l'ultrafiltration

L'ultrafiltration est un procédé de séparation soluté solvant à membranes perméablement sélectives sous l'action de la pression. L'ultrafiltration s'adresse à des particules solubles alors que la microfiltration vise plutôt la séparation des particules en suspension.

II.5.3. L'osmose inverse

On appelle osmose le transfert naturel d'un solvant à travers une membrane séparant deux solutés de concentrations différentes, sous l'action d'un gradient de concentration qui pousse le solvant à quitter le soluté le moins concentré à traverser la membrane et à diluer le soluté le plus concentré. Il arrivera un moment où il n'y a plus de flux d'eau qui traverse la membrane. Le système est en équilibre et la pression d'équilibre est appelée pression osmotique. Ce phénomène d'osmose est réversible.

Il suffit d'augmenter la pression osmotique pour inverser le sens du flux d'eau. C'est le phénomène d'osmose inverse [3].

II.5.4. L'échange d'ions

Le principe de l'échange d'ions consiste à faire **percoler** une solution chargée de composés minéraux (sels, acides, bases) sur un support **solide granuleux** sur lequel on a fixé des ions particuliers que l'on désire **échanger** avec une partie des ions contenus dans la solution.

Lorsqu'un taux déterminé des ions fixés a ainsi été échangé, il faut procéder à une régénération de la résine pour retrouver une performance acceptable.

Diverses combinaisons d'échangeurs d'ions sont utilisées en traitement d'eau. Le choix du chaînage adéquat se fait selon la composition de l'eau brute, le débit d'eau à traiter et la qualité de l'eau à obtenir.

Dans tous les cas, l'eau brute nécessite une étape de prétraitement, totale ou partielle, elle est indispensable pour la suite des opérations car l'eau doit être limpide. [ifp]

II.6. Prétraitement de l'eau

Il peut s'agir :

- **d'une simple filtration** afin de la débarrasser des matières organiques et des matières en suspension.

- **d'une coagulation - floculation** par ajout de chlorure ferrique ou sulfate d'aluminium suivi d'une **décantation et d'une filtration** :

La coagulation est la neutralisation des charges négatives portées par les particules colloïdales par l'ajout d'un coagulant d'origine minérale ou organique synthétique ou naturel [4].

La floculation est l'agglomération des colloïdes coagulés en micro floccs puis en floccs. La décantation est la méthode de séparation la plus fréquente des matières en suspension et colloïdes (rassemblés sous forme de flocc après l'étape de coagulation floculation).

La filtration est un procédé de séparation dans lequel on fait percoler le mélange rassemblé sous forme de floccs et le liquide à travers un milieu poreux qui retient les particules solides et laisse passer le liquide. On distingue principalement : la filtration en profondeur (filtration sur lit granulaire) et la filtration avec formation de gâteau (filtration sur support).

II.7. Combinaisons d'échangeurs d'ions

Dans les cas simples, on rencontre l'adoucissement et la décarbonatation-adoucissement.

➤ L'adoucissement

C'est un procédé qui permet d'éliminer le calcium et le magnésium de l'eau en utilisant un échangeur de cations. Le titre hydrotimétrique de l'eau traitée est pratiquement nul.

L'adoucissement peut être effectué après une épuration préalable à la chaux qui élimine les bicarbonates et réduit le TAC à une valeur généralement comprise entre 2 et 4°F. On obtient ainsi une eau qui est à la fois décarbonatée et adoucie.

➤ La déminéralisation

C'est un procédé qui combine entre les résines échangeuses de cations et d'anions qui peuvent retenir les ions contenus dans l'eau. Ce procédé peut théoriquement enlever 100 % des sels.

La déminéralisation peut être partielle ou totale selon la combinaison et le chainage utilisés :

- **Déminéralisation partielle**

On utilise un échangeur de cations fortement acide et un échangeur d'anions faiblement ou moyennement basique.

- **Déminéralisation totale**

On utilise un échangeur de cations fortement acide et un échangeur d'anions fortement basique.

Pour des eaux de qualités intermédiaires, des chaînes primaires sont opposées pour des besoins particuliers, avec des lits cationiques et des lits anioniques, pour des résines d'acide fort, de base forte, d'acide faible ou de base faible, selon la qualité de l'eau à traiter et celle à obtenir.

Pour obtenir des eaux totalement déminéralisées, de conductivité entre 0,05 et 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et pH de 7, on fait appel à des lits de finition.

Le schéma de la figure N°01 représente les combinaisons d'échangeurs d'ions, les plus couramment utilisés, appelés aussi chainage.

Légende du schéma

AM : échangeur d'anions moyennement ou faiblement basique

AF : échangeur d'anions fortement basique

CM : échangeur de cations moyennement ou faiblement basique

CF : échangeur de cations fortement acide

DEG : dégazeur atmosphérique

DUC CM+CF : superposés dans la même colonne

DUA AM+AF : superposés dans la même colonne

IN : résine inerte

LM : lit mixte mélangé AF+CF

TR: triobed AF+IN+CF

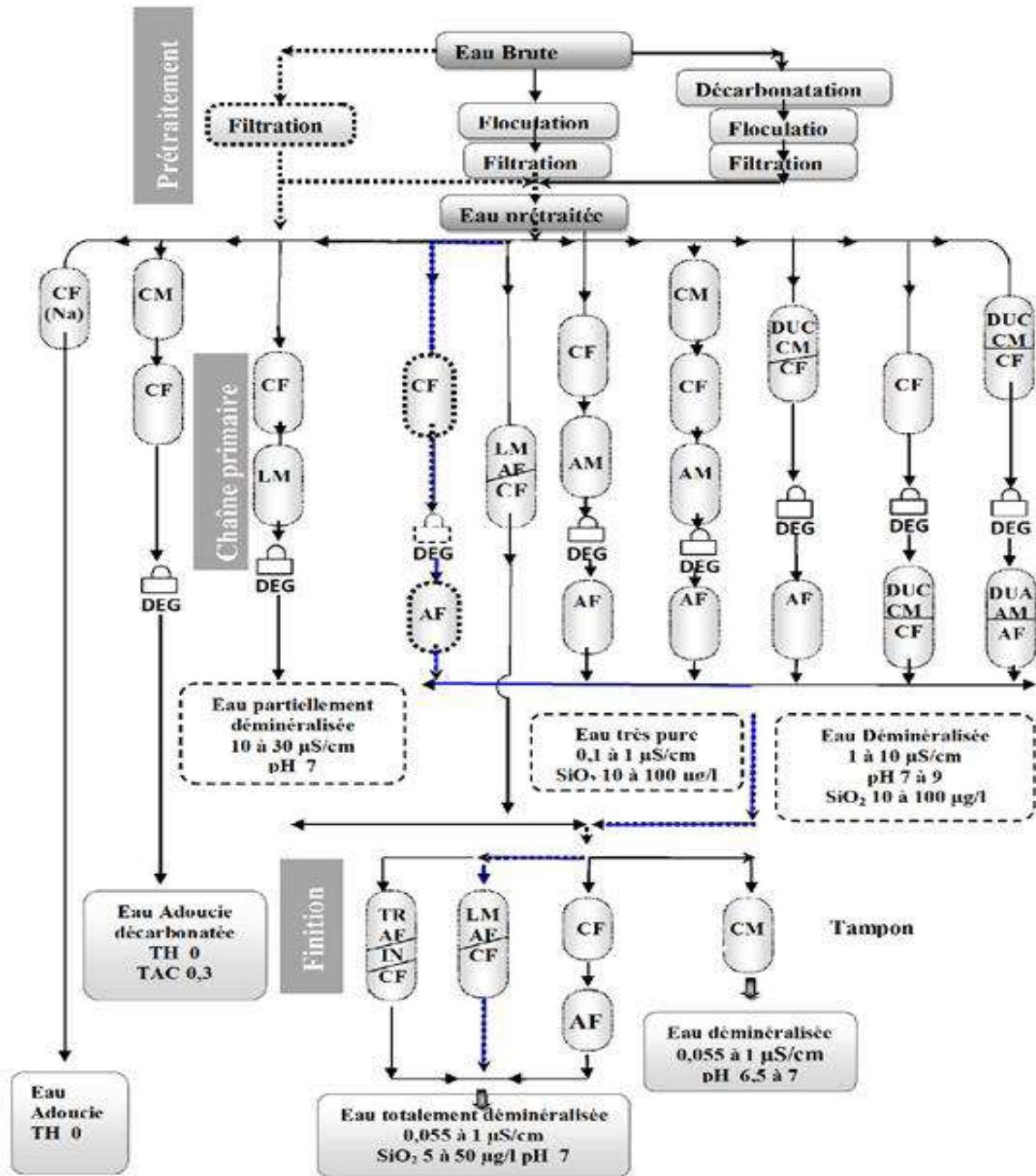


Figure N°02 représente les combinaisons d'échangeurs d'ions, les plus couramment utilisés

Chapitre III

Les échangeurs d'ions

III.1 Introduction :

L'échange d'ions est une technologie extrêmement efficace pour adoucir et déminéraliser l'eau jusqu'à atteindre une grande pureté. Cette technique, qui s'est initialement développée dans les années 1950, est arrivée à pleine maturité et reste la meilleure pour produire de l'eau ultra-pure, c'est à dire pour éliminer toutes traces décontaminant.

III.2 Historique :

L'invention des résines date du XIXe siècle après la découverte du procédé d'échange ionique, Thompson et Way remarquèrent que le sulfate d'ammonium se transforme en sulfate de calcium après percolation à travers un tube rempli de terre. En 1909, en Allemagne, Gans adoucit l'eau pour la première fois en la faisant passer sur un aluminosilicate de sodium. En 1935, Liebknecht et Smit découvrirent que certains charbons pouvaient être sulfonés pour donner un échangeur de cations. La première installation industrielle de déminéralisation d'eaux naturelles à utiliser ces composés fut inaugurée en Grande-Bretagne en 1937.

Aujourd'hui, la technologie de fabrication des résines atteints une certaine maturité, l'effort des fabricants porte d'avantage sur la stabilité des résines et sur leur distribution granulométriques que sur la recherche de nouveaux polymères.

Une grande étape dans le domaine des échangeurs d'ions fut celle de 1942 avec la synthèse, aux États-Unis, par G. F. D'Alelio, des résines de polystyrène sulfoné échangeuses de cations, bientôt suivie, en 1949, de la synthèse des résines échangeuses d'anions à réseau polystyrénique par McBurney.

Ces hauts polymères synthétiques possèdent de remarquables propriétés de résistance à l'action aussi bien des acides et des bases que des oxydants et des réducteurs, et ont conduit à la fabrication de ce que l'on appelle les «résines échangeuses d'ions», dont les caractéristiques reproductibles ont permis d'atteindre une connaissance précise des phénomènes mis en jeu au cours des échanges, en même temps qu'un développement considérable était donné aux applications [16].

III.3. Principe

L'échange d'ions est un procédé dans lequel les ions d'une certaine charge contenus dans une solution (ex : cations) sont éliminés de cette solution par adsorption sur un matériau solide (l'échangeur d'ions), pour être remplacés par une quantité équivalente d'autres ions de même charge émis par le solide. Les ions de charge opposée ne sont pas affectés [17]

Les réactions d'échange d'ions sont réversibles et sélectives : avec R le squelette de la résine :



Les réactions d'échange d'ions sont régies par la loi des équilibres chimiques c'est à dire qu'elles se déroulent jusqu'à ce que les concentrations des divers ions atteignent certaines proportions précises [18].

L'échange d'ions est réalisé sans:

- détérioration ou solubilisation
- modifier le nombre total d'ions dans le liquide avant l'échange.

Il est constitué [19]:

- d'un squelette de base : matrice ou support
- de groupes fonctionnels ionisables au niveau desquels se fait l'échange d'ions cet échange est réversible et quantitatif avec les ions provenant d'une solution avec lesquels on les met en contact.

L'échangeur est dit monofonctionnel s'il y a seulement une variété de groupement fonctionnel et est dit polyfonctionnel si la molécule contient différents types de groupements fonctionnels [20].

III.5. Support

La constitution conditionne les propriétés mécaniques et chimiques de l'échangeur d'ions.

D'autre part, sa porosité détermine l'accessibilité des solutés de l'échantillon aux groupes fonctionnels.

Sa nature peut être :

- minérale : zéolithes, silices greffées ...
- organique : copolymères de synthèse.

On utilise principalement des copolymères réticulés polystyrène /di vinylbenzène capables de résister à l'écrasement dans la colonne et se présentant sous forme de petites billes sphériques d'un diamètre de quelques micromètres [19].

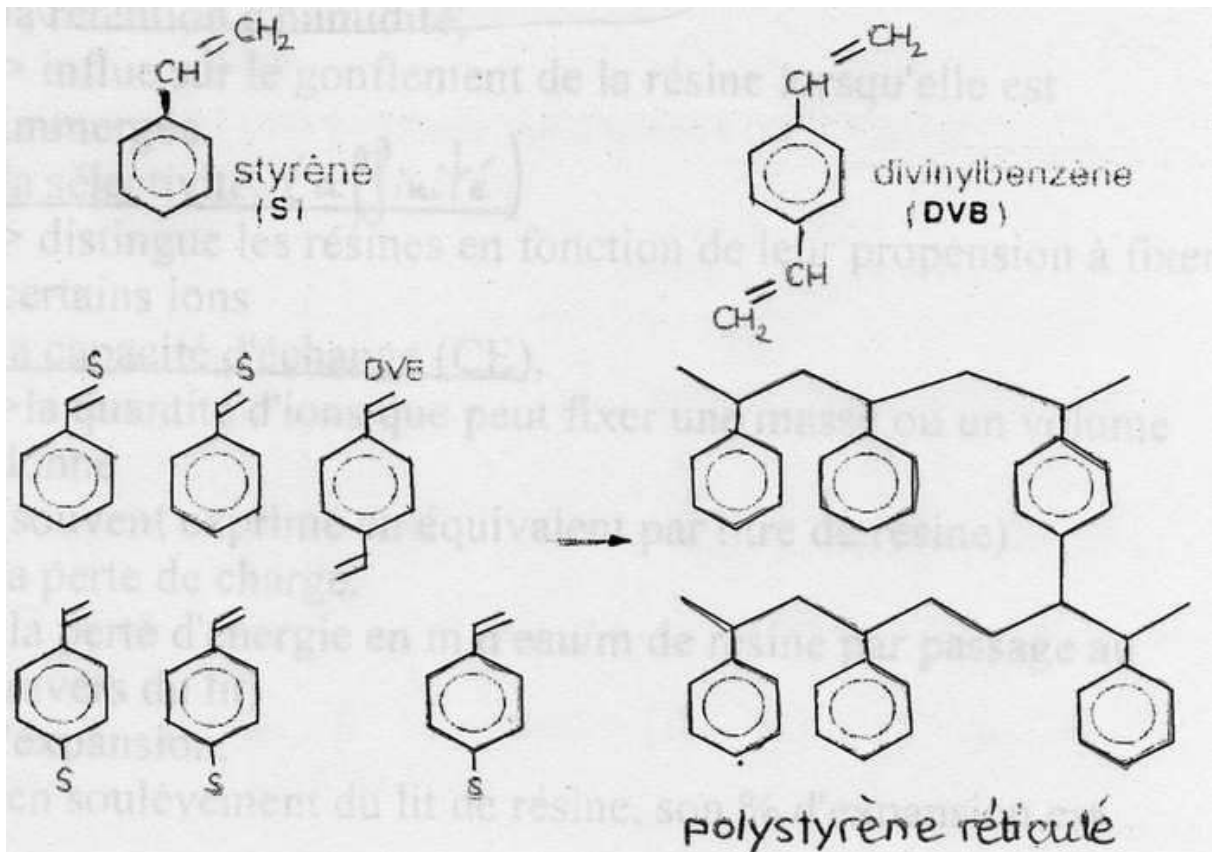


Figure 03 : les principaux supports d'un échangeur d'ion [21]

Monomères et autres substances de départ [21]

- Acide acrylique, n-butyle ester ($C_3H_4O_2$), ($C_5H_8O_2$)
- Acide acrylique, ester de d'éthyle ($C_3H_4O_2$), ($C_3H_6O_2$)
- Acide acrylique, ester de méthyle ($C_3H_4O_2$), ($C_2H_4O_2$)
- Acrylonitrile C_3H_3N
- Formaldéhyde CH_2O
- Acide méthacrylique, ester de méthyle $C_4H_6O_2$
- Méthanol CH_3OH
- Acide méthacrylique $C_4H_6O_2$
- Diester avec éthylène glycol $C_3H_7_4O_4$
- Acide méthacrylique, 2,3-époxypropyl $C_{13}H_{18}O_2$

III.5. Echange d'ions :

les échangeurs d'ions sont des substances granulaires insoluble, comportant dans leur structure moléculaire des radicaux acides ou basique susceptible de permuter, sans modification apparente de leur aspect physique, et sans altération ou solubilisation, les ions positifs ou négatifs, fixé sur ces radicaux, contre des ions de même signe se trouvant en solution dans le liquide à leur contact. Cette permutation appelée échange d'ion permet de modifier la composition ionique du liquide objet du traitement, sans modification du nombre total d'ions existant dans ce liquide au début de l'échange.

III.5. Les types de résine :

Suivant leurs activités chimiques, les résines sont divisées en deux grandes classes: résines inertes et résines fonctionnalisées [21].

III.5.1. Résines Inertes :

Les résines inertes correspondent à une gamme assez importante de polymères ne possédant pas de sites acides ou basiques (sans groupements actifs) et qui présentent des degrés de porosité et de polarité importante. Les propriétés structurales (porosité, surface spécifique) et les propriétés superficielles (fonctions chimiques) dépendent du monomère utilisé.

Ces paramètres ont le rôle prédominant sur les paramètres d'adsorption [22].

III.5.1.1. Les types de résines inertes :

Parmi les résines commerciales inertes, on distingue deux catégories, résines type gel et résines type macroporeux (macro-réticulées). Les deux formes possèdent une structure macromoléculaire obtenue par polymérisation ou copolymérisation, par exemple du styrène et/ou du di vinylbenzène et ne peuvent être différenciées que par leurs porosités [22].

✓ Résine type gel :

Ce sont des résines avec une porosité naturelle issue de la polymérisation. Cette porosité est fonction uniquement des distances intermoléculaires (inter monomère). Ce sont des résines de type microporeuses [22].

✓ Résine type macroporeux :

Ce sont des résines qui comportent en plus de la porosité naturelle, une porosité

Artificielle obtenue par l'addition d'une substance porogène pour créer dans la matrice un réseau de canaux de taille supérieure. Ce sont des résines de type macroporeuse [22].

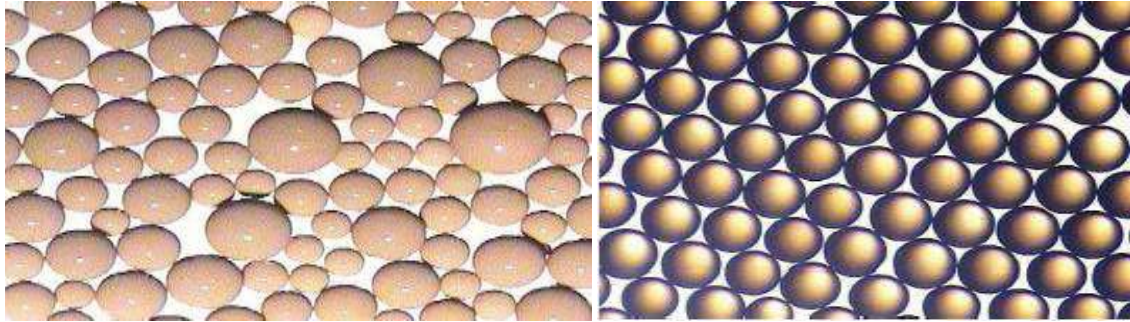


Figure 04 : Photographie d'une coupe d'un lit de billes de résine de type gel

III.5.2. Résine fonctionnalisée :

Adams et Holmes ont synthétisé les premiers échangeurs d'ions artificiels. La première résine échangeuse d'ions à base de polystyrène fut trouvée en 1944 par Alelio.

Les résines échangeuses d'ions à squelette polyacrylique ne furent connues que dans les années 1970-1972. Certaines résines synthétiques sont utilisées comme, échangeuses d'anions (résines dites anioniques), tandis que d'autres sont employées comme échangeuses de cations (résines dites cationiques). Elles sont régénérables : c'est-à-dire qu'elles peuvent être remises sous leurs formes initiales par un lavage adéquat.

Actuellement, les résines échangeuses d'ions sont utilisées dans le traitement des eaux industrielles et domestiques, la production d'eau ultra pure très demandée par l'industrie électronique et pharmaceutique. Des résines sont aussi utilisées comme catalyseurs dans plusieurs procédés industriels. Les résines échangeuses d'ions se présentent sous forme de petites billes [23].

La plus part des résines échangeuses d'ions sont des polymères constitués d'un squelette hydrocarboné sur lesquels sont fixés : les groupes actifs qui assurent la permutation des ions, le groupe actif défini alors le type de résine, ce qui permet de définir les résines cationiques et les résines anioniques [23].

III.5.2.1. Les échangeurs cationiques:

- Echangeurs minéraux et charbons sulfonés: ces produits ne présentent plus qu'un intérêt historique.
- Echangeurs synthétiques, ils peuvent être classés en deux groupes :
 - Les échangeurs de cations fortement acides.
 - Les échangeurs de cations faiblement acides.

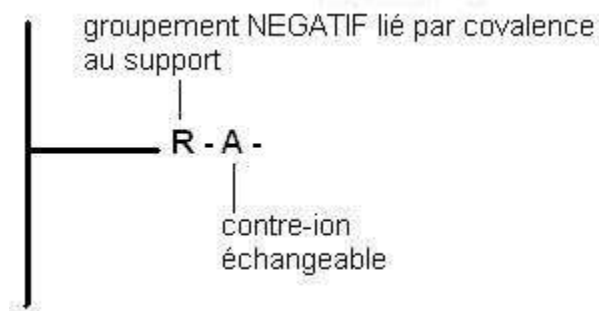


Figure 05: résine échangeuse cationique [24]

Dans les résines échangeuses de cations, les groupements fonctionnels ionisés sont des anions:

- Sulfonate SO_3^-
- carboxylate CO_2^-
- amino Di acetate $\text{N}(\text{CH}_2\text{CO}_2^-)_2$
- phosphate $(\text{PO}_3)_2^-$
- amidoxine $\text{C}(\text{NH}_2)(\text{NOH})$

III.5.2.1.1. Les résines cationiques fortement acides :

Ces résines se présentent sous forme de billes plus ou moins sphériques de couleur jaune et se caractérisent par une capacité d'échange et une activité élevée et un coefficient d'uniformité élevé (défini comme $\text{CU} = d_{60}/d_{10}$ ce coefficient mesure l'étendue de la distribution granulométrie des résines). Elles présentent également une résistance physicochimique aux polluants organiques [25].

III.5.2.1.2 les résines cationiques faiblement acides:

Elles ne peuvent fixer que des cations associés à des anions faiblement basiques, tels que bicarbonate, acétate, etc [25].

Le groupement fonctionnel des résines faiblement acides est un radical carboxylique COOH. Il est pratiquement toujours obtenu à partir d'un polyacrylate de méthyle $(C_5H_8O_2)_n$ ou de poly acrylonitrile $(C_3H_3N)_x$. [25]

III.5.2.2. Les échangeurs anioniques :

Les résines anioniques sont généralement à base de polystyrène, mais entre 1970 et 1972, un nouveau type de résines échangeuse d'ions à squelette polyacrylique selon le degré de basicité des résines anioniques, il apparait deux groupes : échangeurs fortement basique et faiblement basique

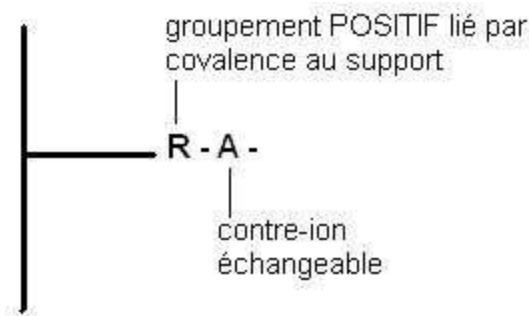


Figure 06: résine échangeuse anionique [24]

- tri méthyle ammonium $N(CH_3)^{3+}$
- di méthyle hydrox éthyle ammonium $N(C_2H_4OH)(CH_3)^{2+}$
- amines tertiaire et secondaire $N(CH_3)_3$ (qui ne sont ionisées qu'en milieu acide).

III.5.2.2.1 Les résines anioniques fortement basiques

Les résines anioniques fortement basiques fixent les acides faibles comme l'acide carbonique ou la silice, elles peuvent également libérer les bases et leurs sels. Les résines se caractérisent par la présence de radicaux ammonium quaternaires ou alcoyles.

Les résines caractérisées par des radicaux ammoniums simples, sont fortement basiques, leur capacité d'échange est faible et leur régénération est médiocre [25].

III.5.2.2.2. Les résines anioniques faiblement basiques

Les résines faiblement basiques sont en général du type polyamide aromatique et retiennent exclusivement les acides forts à condition que ceux-ci soient libres. Dans la solution mise en contact avec l'échangeur [25].

La capacité d'échange de ces résines dépend du nombre de fonctions introduites au cours de la condensation. Elle présente en revanche une grande stabilité [25].

III.6. Propriétés générales des résines

III.6.1. Taux de réticulation

C'est le pourcentage de di vinylbenzène dans monomère en masse. L'augmentation du taux de réticulation, donne une résine de plus en plus dure, donc la structure devient trop rigide et compacte et l'accès au cœur de la bille devient difficile. La réticulation des polymères réduit la rétention d'eau des résines [3].

III.6.2. Capacité d'échange

C'est la masse des ions susceptibles d'être fixés par unité de volume ou de masse de l'échangeur considérée.

III.6.2.1. La capacité totale

La capacité totale d'échange d'une résine, exprimée en équivalents par unité de masse (ou de volume), représente le nombre de sites actifs disponibles [2]. Elle n'est en pratique jamais atteinte.

III.6.2.2. La capacité utile

C'est la fraction de la capacité totale réellement utilisée au cours de l'échange en fonction des conditions hydrauliques et chimiques de chaque cas particulier d'application.

III.6.3.3. Gonflement et stabilité osmotique

Au cours de l'échange ionique, les billes de résines peuvent gonfler ou se contracter considérablement. Les tensions subites par la résine sont appelées les forces osmotiques. Industriellement, la connaissance du gonflement des résines est importante lors de la construction des installations [11].

La résine subit une variation de volume, cette variation est liée à l'affinité entre les molécules de solvant et celle des radicaux fonctionnels ou des ions échangeable, plus le nombre de molécules susceptibles de se lier à l'ion échangeable est grande, plus la résines gonfle.

Le gonflement d'une résine séchée, langé d'une une solution, est due à la pénétration des molécules de solvant à de la résine, il en découle une variation de volume de la résine humide.

La résine est insoluble dans l'eau, mais l'eau peut pénétre entre les mailles du réseau macromoléculaire donc la résine gonfle.

Si le réseau macromoléculaire moins serré donc le gonflement est plus important, des plus, les groupements sont des acides forts, complètement ionisée, ils sont solvates par des molécules d'eau.

Le gonflement est lies à la nature du solvant selon que ce soit de l'eau pure, un solvant pur ou un mélange de solvant.

III.6.3.4. La masse volumique

Cette caractéristique est importante car elle conditionne le comportement hydraulique des résines.

III.6.3.5. Granulométrie

La taille des billes de résine est conditionnée lors de la polymérisation par plusieurs paramètres : la nature du milieu de suspension, la concentration des monomères et la vitesse d'agitation. En pratique, on obtient toujours un étalement granulométrique et non pas des billes d'une taille unique. Les résines courantes sont généralement des billes de 0.3 à 1.2mm.

III.7. Le mécanisme d'échange

III.7.1. Mécanisme

Le processus de l'échange ionique peut être considéré comme un équilibre chimique.

Si on met le liquide à traiter en contact statique avec l'échangeur d'ions, la réaction s'arrête lorsque l'équilibre est atteint entre le liquide et la résine, mais il subsiste pratiquement toujours une fuite ionique plus ou moins importante de l'ion qu'on souhaite fixer.

Si on désire pousser le traitement du liquide jusqu'à l'élimination d'un ion au profit d'un autre, il faut donc déplacer progressivement l'équilibre en faisant traverser une série de couches successives de résine par le liquide contenant de moins en moins d'ions à fixer jusqu'à une concentration au voisinage de zéro de l'ion indésirable [14].

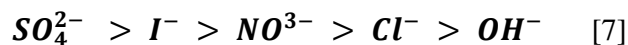
III.7.2. Sélectivités des ions

Le déplacement de l'équilibre dépend également de l'affinité des ions pour la résine.

Pour l'échange cationique, la sélectivité est donnée comme suit :



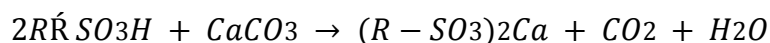
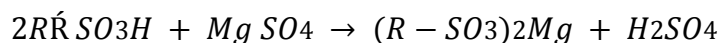
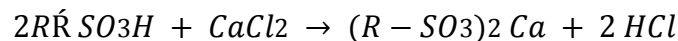
Pour l'échange anionique, la sélectivité est donnée comme suit:



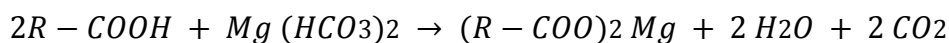
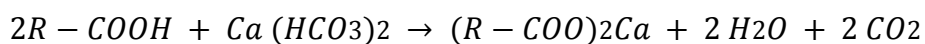
III.7.3. Réactions

III.7.3.1. Echange cationique :

- Cas d'une résine fortement acide :

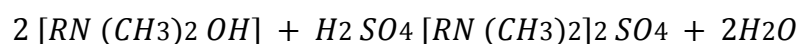
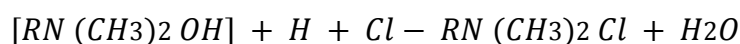


- Cas d'une résine faiblement acide

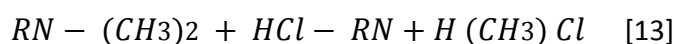


III.7.3.2 Echange anionique:

- Cas d'une résine fortement basique :



- Cas d'une résine faiblement basique:



III.8. Méthodes de régénération

La régénération est aussi importante dans la mesure où elle affecte la qualité de l'eau traitée, car elle est étroitement liée à la capacité épuratoire de la résine, donc au nombre de sites fonctionnels.

Il faudra donc procéder à une régénération des résines de façon à inverser les réactions pour revenir à la capacité d'échange initiale.

Pour se faire, des solutions concentrées d'acide sulfurique, ou d'acide chlorhydrique pour la résine cationique, et de la soude pour la résine anionique sont nécessaires.

Le rinçage des résines est aussi nécessaire après ces opérations afin d'éliminer les excès de régénérant.

On distinguera la méthode de régénération à Co-courant et la méthode à contre-courant.

III.8.1. Régénération à Co-courant

Les régénérant sont injectés dans un sens identique que celui de l'eau à traiter, cette variante est économiquement acceptable mais elle conduit à une fuite un peu élevé au cours du cycle suivant donc son efficacité reste plus faible [4].

III.8.2. Régénération à contre-courant

La régénération est effectuée dans le sens inverse de la fixation de la solution à traiter. Cette variante donne une fuite permanente minimale au cycle suivant et la consommation de régénérant sera bien moins élevé que dans le cas précédent [4].

III.9 Domaines d'applications :

III.9.1 Procédés pharmaceutiques :

Les résines échangeuses d'ions sont utilisées dans les procédés industriels permettant l'isolation et la concentration des antibiotiques, des aminoacides, des Pesticides, des hormones, des protéines. Ces résines peuvent également servir pour la Décoloration, la déminéralisation et la purification

III.9.2 Raffinage du sucre :

L'utilisation des résines échangeuses d'ions permet de réduire la présence des sels

Et des composants organiques (sans sucre) dans les solutions sucrées. Elle accroît la Concentration avec une augmentation du saccharose et la réduction de la quantité de Mélasse produite

III.9.3. Production des colloïdes :

Appliquées à la méthode générale de préparation des sels organiques, les résines Échangeuses d'ions fournissent l'avantage que le sel obtenu ne contient pas de relargages d'électrolytes

III.9.4. L'industrie alimentaire :

III.9.4.1. Déminéralisation de lactosérum :

Le lactosérum, ou petit-lait, obtenu lors de la fabrication du fromage, est riche en Protéines et trouve des emplois dans l'industrie alimentaire. On le déminéralise pour en Augmenter la pureté. Le principe est le même que celui de la déminéralisation d'eau ou De jus sucrés

III.9.5. l'industrie chimique :

III.9.5.1. Récupération ou élimination de métaux :

Dans les ateliers de traitement de surface et de placage, on peut éliminer ou récupérer les Métaux en solution

Récupération d'or dans les ateliers de joaillerie industrielle sous forme de Complexes cyanurés sur Amber lite

Recyclage des eaux de rinçage en galvanoplastie avec les Amber lite

Élimination de cuivre et de fer dans les ateliers de chromage avec l'Amber lites

Récupération d'acide chromique dans les ateliers de chromage avec l'Amber lite

Élimination de fer dans les bains de galvanisation (zincage) avec l'Amber lite

Purification des bains de décapage des métaux par élimination de fer et de zinc Sous forme de complexes chlorurés avec l'Amber lite

III.9.6. Applications diverses :

III.9.6.1. Immobilisation d'enzymes :

Dans les réactions enzymatiques, il est commode de fixer l'enzyme sur un support plutôt que de l'ajouter au milieu de réaction. Les résines échangeuses d'ions sont

tout indiquées pour cette application

III.9.6.2.Hydro culture :

Des résines échangeuses de cations et d'anions sont utilisées pour fixer les Substances fertilisantes nécessaires à la croissance des plantes en culture hydroponique : Ammonium, potassium, fer, zinc (cations) et nitrate, phosphate (anions). Des oligo-Éléments sont aussi fixés sur les résines. Cette technique permet une diffusion lente des Éléments nutritifs. [25]

III.8.4.Conclusion :

L'échange d'ions est une technologie puissamment efficace pour l'élimination d'impuretés dans l'eau et dans des solutions diverses.

On trouve aussi de très nombreuses applications dans des domaines autres que le Traitement de l'eau.

Chapitre IV

Etude et suivi de l'installation de déminéralisation.

IV.1. Etude de l'installation

➤ IV.1.1. Description de l'installation

L'installation de déminéralisation se compose de trois filtres à lits mixtes A, B et C. les deux premiers en mesure de traiter un débit de 80 m3/h d'eau distillée, le troisième pour traiter 60 m3/h de condensats.

L'installation est articulée sur deux lignes avec un fonctionnement alterné et parallèle quand une ligne demande à être régénérée, l'autre entre en service, dans les spécifications nous aurons deux colonnes en service et une en régénération ou en stand-by.

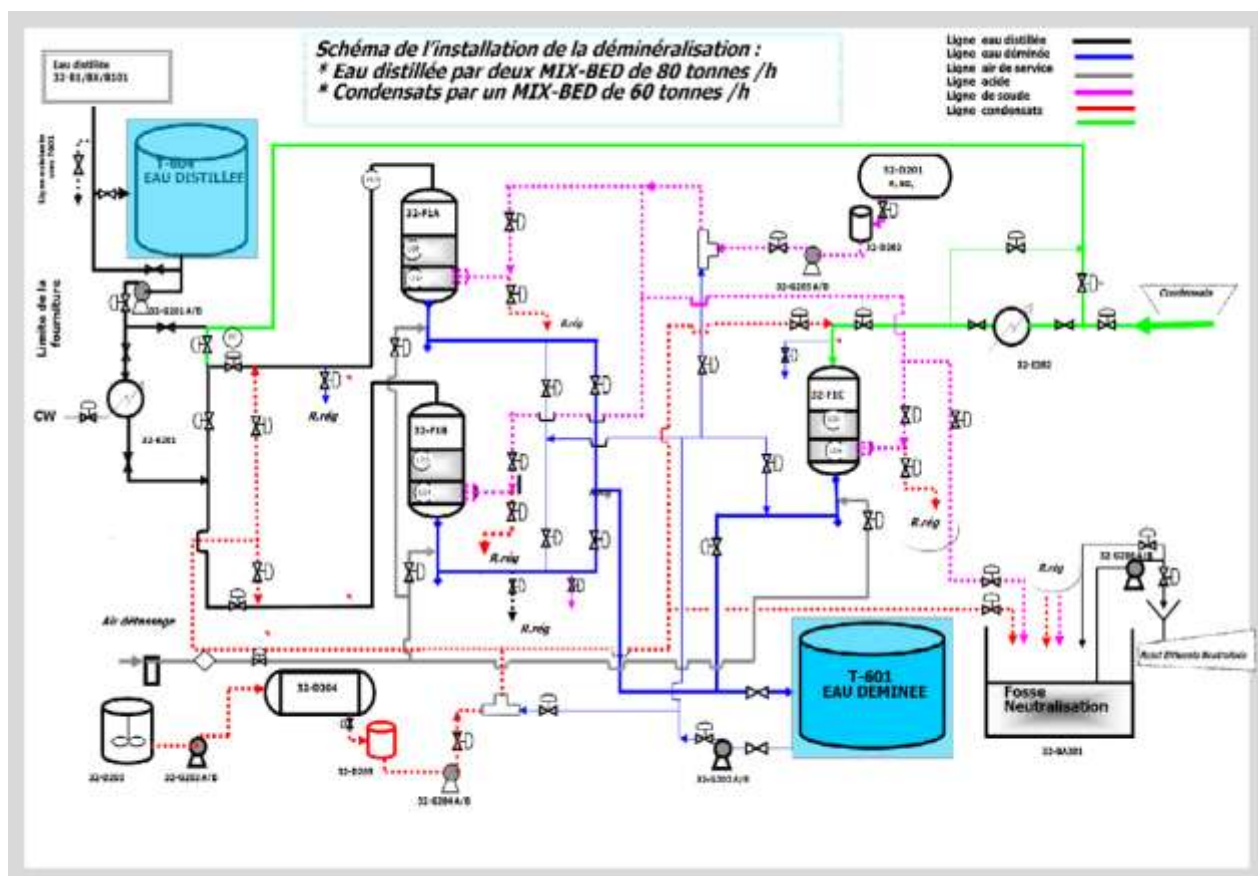


Figure n° 07 : schéma de l'installation de déminéralisation

La batterie de filtration à lits mixtes est composée de deux lignes, avec un débit de 80 m³/h pour chaque ligne de traitement, une ligne en service, tandis que l'autre est en stand-by ou en régénération.

Les filtres sont réalisés en acier ou carbone électro-soudés revêtus à l'intérieur avec une couche d'ébonite de 4 mm.

Dans les filtres à lits mixtes sont entreposées la résine anionique forte, ainsi que la résine cationique forte, sans aucun élément de séparation.

L'installation d'une plaque porte-vent inférieure, sur laquelle sont installés des diffuseurs drainants préposés à évacuer le flux de l'eau et des réactifs et à empêcher le passage des résines, alors que, sur la zone supérieure est installé un système de diffusion, pour bloquer les éventuelles fuites des résines, avec l'utilisation des diffuseurs radiaux.

Pour permettre la préparation des régénérant l'installation est également munie de quatre réservoirs :

- Deux réservoirs destinés au stockage de l'acide sulfurique et la soude caustique concentrés
- Deux réservoirs avec systèmes d'agitation pour la dilution de l'acide sulfurique et la soude caustique.

Les opérations de régénération des résines sont complètement gérées par un automate.

Les vannes pneumatiques installées sont toutes du type à membrane / papillon, réalisées en matériel plastique, normalement fermées avec électrovannes pilote en batterie.

Les figures 4 et 5 représentent respectivement un schéma détaillé d'une colonne et un schéma de la crépine disposée au fond de la colonne.

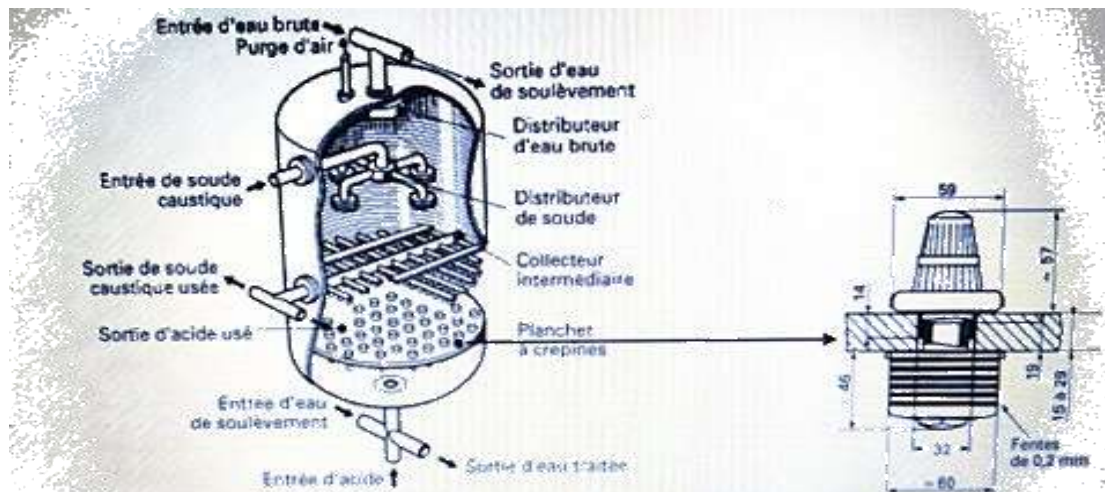


Figure n°8 schéma détaillé d'une colonne **Figure n°9** : schéma d'une crépine .

➤ **Condition opératoire :**

- Température : 0-45 C°
- Pression d'exercice : 1-5 bar

➤ **Dimension de la colonne a lit mix :**

- Hauteur partie cylindre : 2500 mm
- Diamètre : 1400 mm

➤ **IV.1.2. Fonctionnement :**

L'eau distillée qui vient de l'évaporateur percole à travers le lit de résine du haut vers le bas, la résine cationique libère ces H⁺ et fixe les cations, selon leur sélectivité respective (Mg²⁺, Ca²⁺, K⁺, Na⁺), et la résine anionique libère les ions OH⁻ et fixe les anions (SO₄²⁻, NO₃⁻, HCO₃⁻, Cl⁻...). L'élimination des dernières traces des ions permet d'obtenir une conductivité inférieure à 0.2 μS/cm et un pH neutre.

Le démarrage de la régénération des filtres sera déterminé par les mesureurs de débit et par le seuil de haute conductivité, alors que la gestion de l'installation est confiée à un PLC.

➤ IV.1.3. Régénération des résines

Pour réduire la consommation des réactifs et améliorer la qualité de l'eau produite, la régénération s'effectuera en contre-courant.

Les phases de régénération dans l'ordre sont les suivantes :

❖ Contre lavage

La première phase de régénération des résines du filtre à lit mixte est le contre lavage qui, à la différence des colonnes à résine traditionnelle n'a pas la fonction précise de fluidifier et de recalifier le lit, mais a la fonction de séparer, par gravité, les deux types de résines installées. Les résines cationiques fortes ont une densité supérieure, c'est pour cela qu'elles auront tendances à aller vers le, alors que les résines anioniques fortes ont une densité inférieure et auront tendance à se déplacer vers le haut.

A proximité de la zone de séparation, est installée une auréole de drainage composée d'un ensemble de tuyauterie et de diffuseurs de type radial; l'auréole intermédiaire a la fonction principale de créer une zone de séparation "virtuelle" entre les deux couches de résine.

Pour effectuer cette opération on utilise l'eau déjà déminéralisée à partir du bac de stockage T-601.

❖ Pause

Après avoir séparé les résines, on prévoit une phase de pause afin d'avoir une parfaite sédimentation des résines; durant cette phase toutes les vannes sont fermées et les pompes de régénération sont à l'arrêt.

❖ Régénération alcaline

Après la phase de pause, intervient la phase d'injection de soude caustique, dans le sens descendant (le haut de la colonne), en sortie de l'auréole intermédiaire pour éviter de "mouiller" les résines cationiques présentes dans la partie inférieure avec la solution alcaline.

La solution de régénération est composée de soude caustique et d'eau déminéralisée avec une concentration d'environ 4%.

L'eau utilisée pour la dilution est prélevée du bac de stockage T-601.

❖ Lavage lent anionique et injection acide

Durant la phase de lavage lent de la résine anionique forte qui s'effectue du haut de la colonne en sortant de l'auréole intermédiaire, simultanément avec l'injection de l'acide sulfurique nécessaire à la régénération des résines cationiques fortes du bas vers le haut, faisant évacuer la solution de régénération acide par l'auréole intermédiaire.

Ouvrant de façon systématique, on obtient deux avantages opérationnels: réduction du temps global nécessaire à une régénération et réduction de l'interférence des solutions de régénération sur les deux types différentes de résine.

L'eau utilisée pour la dilution est prélevée du bac de stockage T-601.

❖ Lavage lent anionique et lavage lent cationique

Les phases de lavage lent anionique et lavage lent cationique sont presque les mêmes phases décrites précédemment avec l'unique différence que l'injection de l'acide doit être interrompue.

Pour effectuer les opérations de lavage, l'eau est prélevée du réservoir de stockage T-601 et après avoir lavé le lit de résine, elle est destinée à l'installation de neutralisation des eaux de rejets de régénération.

❖ Lavage rapide cationique

Après les phases de régénération et lavage lent on effectue un lavage rapide des résines cationiques fortes uniquement. En effet, les résines anioniques ayant subies un lavage lent très long, ne nécessitent pas d'être lavées de nouveau.

Le lavage rapide des résines cationiques vise à déplacer aussi les micros traces de solution régénérante encore présentes dans le lit filtrant effectué par l'auréole centrale vers le bas de la colonne.

❖ Vidange partielle

Après les diverses phases de régénération, il est nécessaire de remettre en condition le mélange des résines installées, on procède donc à dépressuriser et à vider partiellement la colonne par les vannes 32-YV05, 32-YV06.

❖ **Mélange avec air**

Successivement au vidange de la colonne, on procède à émettre l'air comprimé du bas de la colonne jusqu'à ce que les turbulences que produit l'air comprimé en montant dans le lit de résine, mélangent complètement les résines et annulent la classification obtenue avec le contre lavage initial.

❖ **Lavage final**

Après avoir mélangé les résines avec l'air comprimé, il est nécessaire de procéder au lavage final du lit de résine. Ce qui permet la vérification du résultat de la phase complète de régénération.

La régénération est terminée et la colonne est mise en "stand-by", prête pour être mise en service.

Le tableau n° 02 donne les débits et les temps de chacune des phases détaillées ci-dessus

Tableau n° 02 les phases de régénération des lit mixte

REGENERATION DES LITS MIXTES			
Phases	Débit eau	Débit soude / acide	Durée
Contre lavage	8 m ³ /h	-	20 min
Injection soude	9.7 m ³ /h	568 lt/h	30 min
Lavage lent soude	9.7 m ³ /h	-	60 min
Injection acide	8.6 m ³ /h	3.720 lt/h	30 min
Lavage lent acide	8.6 m ³ /h	-	30 min
Lavage rapide cationique	15 m ³ /h	-	20 min
Vidange partielle	-	-	10 min
Mélange avec air	-	-	10 min
Lavage final	30 m ³ /h	-	10 min

Pour les calculs d'échange d'ions, il est nécessaire de connaître la composition exacte de la solution à traiter.

➤ **IV.3.1. Éléments de l'analyse d'eau**

En traitement d'eau, les principaux ions que l'on rencontre sont :

- Les cations : Ca^{2+} Mg^{2+} Na^+ , K^+ .
- Les anions: OH^- , CO_3^{2-} ; HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}

Les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} sont regroupés sous le nom de **dureté**, mesurée par le **titre hydrotimétrique TH** (en méq/l).c'est la somme des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} .

Les ions OH^- , CO_3^{2-} , et HCO_3^- sont regroupés sous le nom **d'alcalinité totale**, mesurée par le **titre alcalimétrique complet TAC** (en méq/l).

La concentration en ions OH^- et CO_3^{2-} est appelée **alcalinité caustique**, mesurée par le **titre alcalimétrique TA** pour les eaux de pH alcalin.

Les ions Cl^- , NO_3^- et SO_4^{2-} sont regroupés sous le nom de **sels d'acides forts SAF**.

La salinité totale ST est définie comme étant la somme des cations et des anions qui constituent la solution.

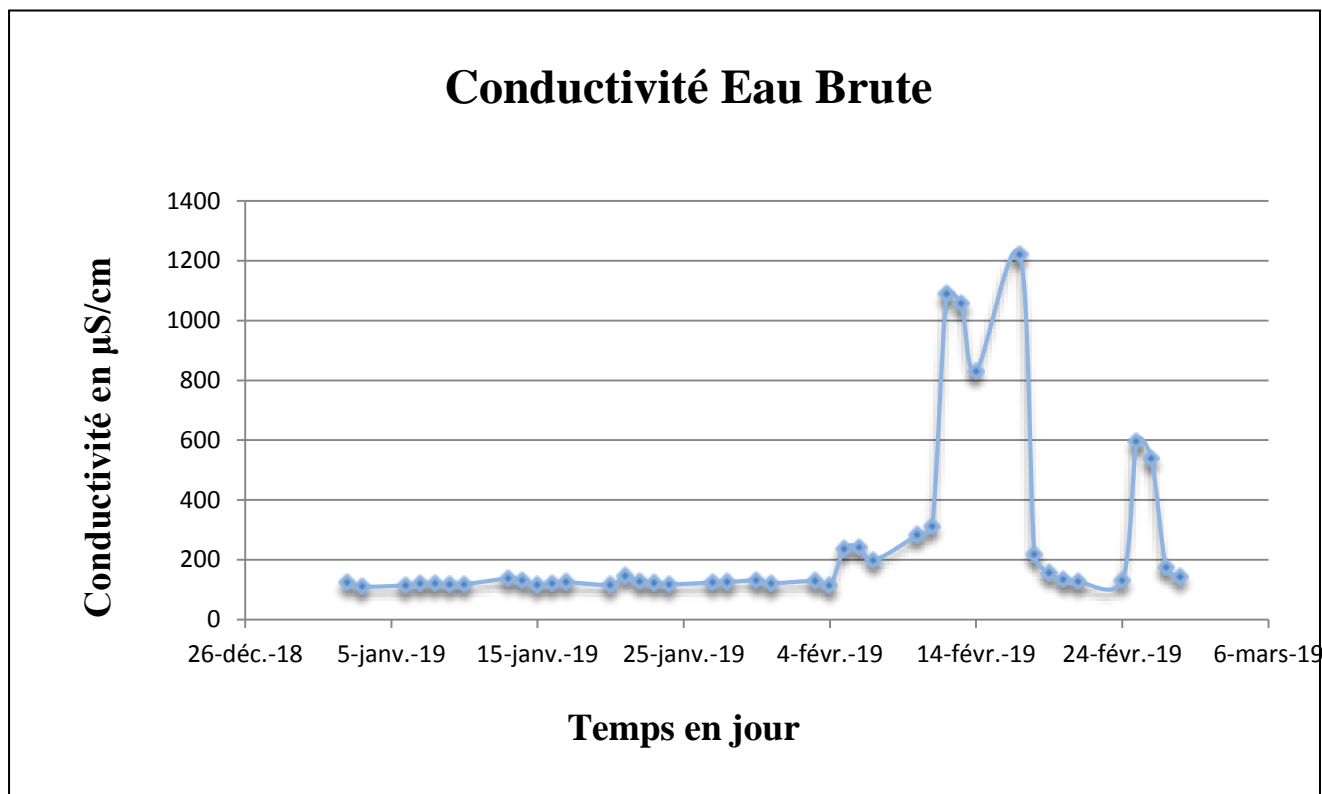


Figure n°10 : l'évolution de la conductivité de l'eau brute.

➤ **Interprétation :**

L'allure de la courbe permet d'enregistrer une nette augmentation de la conductivité dépassant les 1000 $\mu\text{S/cm}$ durant la période de début du mois de février ayant connue un approvisionnement de l'eau de barrage et ce suite à la rupture de l'approvisionnement à partir de KAHRAMA.

À l'exception de cette période la conductivité n'a pas dépassé les 170 $\mu\text{S/cm}$.

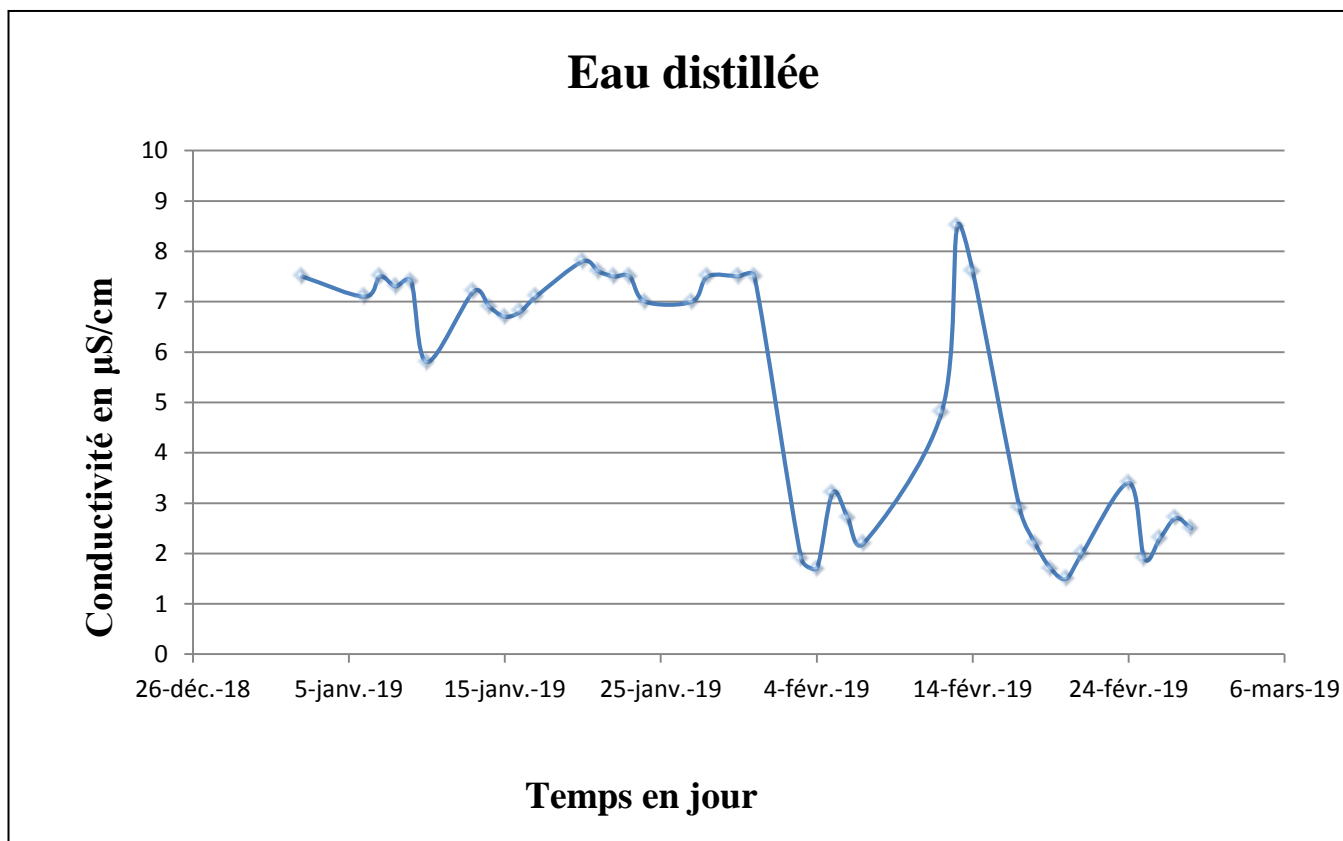


Figure n°11 : l'évolution de la conductivité de l'eau distillée de l'évaporateur B102.

➤ Interprétation

Il en est de même pour l'eau distillée produite par l'évaporateur B102 qui enregistre une importante augmentation de la conductivité. Celle-ci est également due au changement de l'eau d'alimentation et ce durant la période de l'approvisionnement en eau de barrage.

Les trois graphes ci-dessus présentés laissent apparaître amplement l'influence de la qualité de l'eau d'alimentation sur la conductivité de l'eau distillée à la sortie des évaporateurs. En effet la conductivité de la sortie des évaporateurs est proportionnelle à celle de leurs entrées.

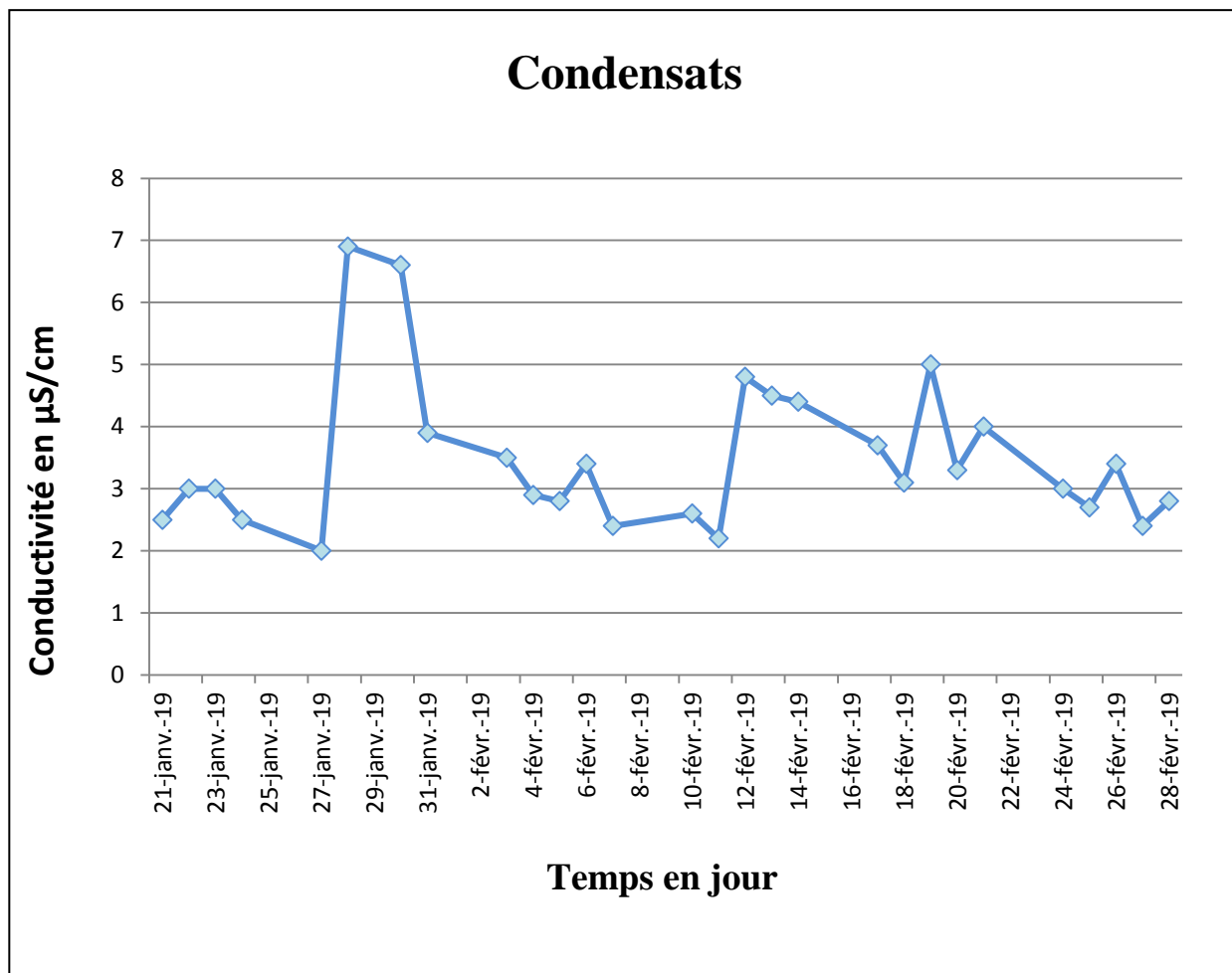


Figure n°12 : l'évolution de la conductivité du retour des condensats.

➤ Interprétation

Nous remarquons que la conductivité des retours condensats est pratiquement inférieur a 7 μS .

IV.4 Inconvénients dus aux impuretés de l'eau dans la chaudière

La production de vapeur dans une chaudière est réalisée par la vaporisation partielle de l'eau contenue dans les faisceaux de vaporisation. La régulation du niveau d'eau dans le ballon de chaudière conduit à un appoint d'eau alimentaire compensant les débits de vapeur produite et de la purge continue. Dans la mesure où, en première approximation, la vapeur produite est constituée d'eau pure, les impuretés apportées par l'eau d'appoint se concentrent dans les faisceaux de vaporisation. Cette concentration des impuretés peut conduire aux inconvénients présentés ci-dessous.

➤ IV.4.1. Incrustations

Pour la majeure partie des sels minéraux contenus en chaudière, l'effet de concentration par évaporation est prépondérant sur l'accroissement de solubilité associé à l'élévation de température paraissent. Les premiers sels à précipiter sont les sulfates de calcium (CaSO_4) et le carbonate de calcium (CaCO_3) constituants essentiels du "tartre" des chaudières.

Les sels de silice (silicates) ont la particularité d'avoir une solubilité qui diminue avec une augmentation de la température. Si ces sels sont présents dans l'eau alimentaire de chaudière, les deux effets d'élévation de température et de concentration par évaporation se conjuguent et favorisent leur précipitation.

Ces précipités solides ont une conductibilité thermique environ 100 fois plus faible que celle de l'acier des tubes de vaporisation et jouent quand ils se déposent sur les parois le rôle d'isolant pour le tube dont le refroidissement à l'eau n'est plus assuré à l'endroit du dépôt. Cette absence de refroidissement provoque une élévation locale de la température dans l'épaisseur du tube pouvant provoquer sa rupture par fluage.

De plus, la formation de bulles de vapeur exemptes de sels au contact de la paroi de la chaudière conduit à une concentration locale en sels de l'eau liquide. Ce phénomène est d'autant plus important que la pression de la chaudière est élevée. En effet, à un même volume de bulle de vapeur, correspond une masse d'eau vaporisée - et donc de sels abandonnés lors de la vaporisation - plus grandes sous pression supérieure.

Pour éviter les incrustations, il faut limiter la teneur en sels dissous de l'eau en chaudière à une valeur d'autant plus faible que la température de l'eau - et donc la pression de service - sont plus élevées.

On utilise aussi les propriétés du phosphate de calcium dont la limite de solubilité est inférieure à celle des autres sels de calcium mais qui donne lieu à des précipités non adhérents et donc non incrustants.

L'injection de phosphate, doit toutefois être limitée pour minimiser l'entraînement de phosphate dans la phase vapeur par primage qui conduit à des encrassements des surchauffeurs et à des dépôts sur les roues de turbines motrices.

➤ IV.4.2. Primage

Le primage consiste en l'entraînement mécanique des gouttelettes d'eau liquide par la vapeur. Lors de la traversée du surchauffeur, les gouttelettes se vaporisent et les sels qu'elles contenaient sont entraînés à l'état de fines poussières donnant lieu à des dépôts dans les surchauffeurs et même sur les aubages de turbines. Lorsque la limite de solubilité est atteinte, des dépôts incrustants

Les dépôts isolants formés à l'intérieur du surchauffeur conduisent à une élévation de la température des tubes et éventuellement à leur rupture par fluage. D'autre part, des corrosions peuvent se produire sous ces dépôts.

Le primage est favorisé par une viscosité élevée de l'eau due en particulier à une teneur importante en sels dissous ou par un phénomène de moussage dû à la présence de matières organiques.

➤ IV.4.3. Entraînement par la vapeur de composés minéraux volatils

C'est le cas en particulier de la silice qui se répartit au niveau du ballon de chaudière entre la phase vapeur et la phase liquide. Cette répartition est caractérisée par un coefficient d'équilibre K , rapport des concentrations en silice des deux phases.

K = Concentration en silice de la vapeur

Concentration en silice du liquide

La valeur de ce coefficient dépend de la pression (et température) du ballon et du pH de l'eau.

La silice solubilisée se dépose ensuite lors du refroidissement de la vapeur lié à sa détente en turbine.

Chapitre V

Calcul de la nouvelle capacité de traitement

Compte tenu des perturbations enregistrées dues essentiellement au changement de la qualité d'eau brute générant par voie de conséquence une augmentation de la conductivité à la sortie des évaporateurs ajoutés à des problèmes d'ordre technique conduisant à l'arrêt même de ces derniers, nous avons jugé utile d'étaler notre réflexion sur l'adaptation des installations actuelles en optant pour une nouvelle combinaison d'échangeurs d'ions à l'effet d'une meilleure prise en charge de ces problèmes.

La nouvelle combinaison comporte un lit cationique, un lit anionique et un lit mixte de finition. Elle aura la faculté de traiter les eaux de conductivité plus ou moins élevée provenant des évaporateurs en cas de dysfonctionnement ou de changement de la qualité de l'eau brute.

Amorcé à cette possibilité et contrairement au système actuel, elle aura également l'avantage de produire une eau totalement déminéralisée directement à partir de l'eau brute.

La combinaison proposée pour la déminéralisation d'eau permettra d'assurer un approvisionnement d'appoint en eau déminéralisée en cas de la survenue de toutes défaillances d'ordre technique d'un évaporateur.

la figure N°08 représente un schéma général de la nouvelle combinaison.

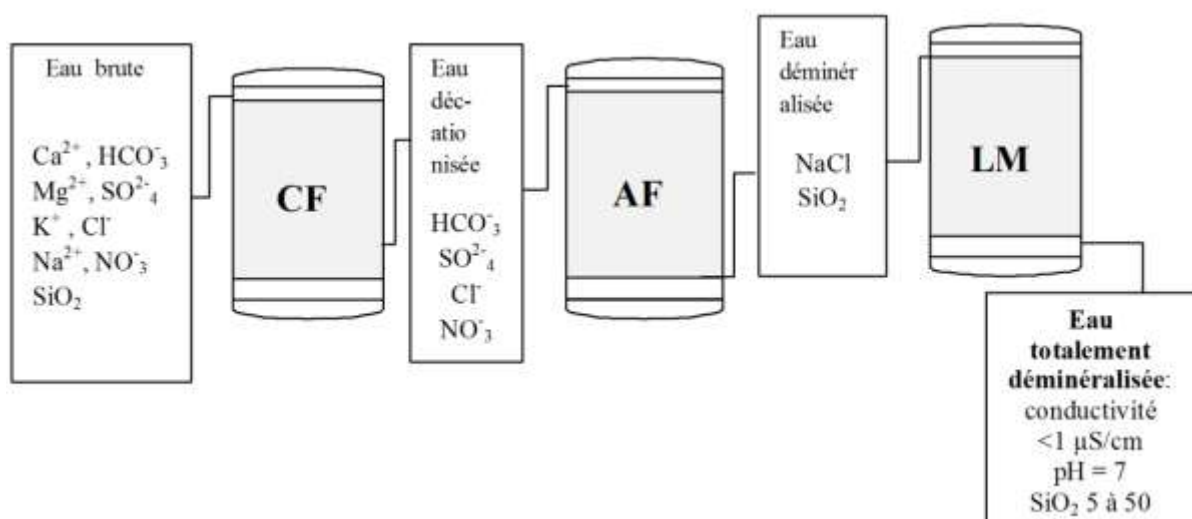


Figure N°013 : Chainage permettant l'obtention d'eau déminéralisée.

- Il s'agit donc d'une déminéralisation totale qui se fait en deux chaînes :
- Une chaîne primaire comportant un échangeur de cations fortement acide, régénéré par l'acide sulfurique, un échangeur fortement basique, régénéré par la soude ;
 - Une chaîne dite de finition comportant un échangeur à lit mélangé qui réunit deux résines fortes, cationique et anionique.

V.1.Calcul de l'installation

Nous proposons une modification qui permet de produire une eau totalement déminéralisée à partir de l'eau brute.

Pour ce faire il faut disposer de données suivantes :

- le volume net de production ;
- le débit à utiliser pour la production ;
- le type de résines à utiliser, avec le type de chaînage souhaité ;
- la qualité de l'eau à traiter ainsi que le degré de pureté désiré.

Les données de base sont résumées dans les tableaux suivants :

Tableau n°03: données de base

Débit net (m ³ /h)		100
Durée de production(h)		24
Production nette (m ³)		2400
Qualité d'eau demandée		
Avant finition		Après finition
Conductivité (µS/cm)	< 10	<1
SiO ₂ (mg/l)	0.1	0.05

Tableau n°04 : analyse de l'eau KAHRAMA effectuée le 3 mars 2019

Minéralisation globale		mg/l	méq/l	ppm CaCO ₃
Calcium	Ca ²⁺	18.4	0.92	46
Magnésium	Mg ²⁺	2.3	0.19	9.5
Sodium	Na ⁺	13	0.57	28.5
Potassium	K ⁺	0	0	0
Total des cations		33.7	1.68	84
Chlorure	Cl ⁻	7.9	0.22	11
Sulfate	SO ₄ ²⁻	2.1	0.04	2
Bicarbonate	HCO ₃ ⁻	72	1.18	59
Nitrate	NO ₃ ⁻	0	0	0
Total des anions		82	1.44	72
La silice	SiO ₂	0	0	0
Dioxyde de carbone	CO ₂	1.5		

Tableau n°05 : analyse de l'eau distillée (B 101) effectuée le 03 mars 2019

Minéralisation globale	mg/l		méq/l	ppm CaCO ₃
Calcium	Ca ²⁺	0.3	0.02	1
Magnésium	Mg ²⁺	0.06	0.01	0.5
Sodium	Na ⁺	1.82	0.08	4
Potassium	K ⁺	0	0	0
Total des cations		2.18	0.10	5.5
Chlorure	Cl ⁻	1.4	0.04	2
Sulfate	SO ₄ ²⁻	1.8	0.04	2
Bicarbonate	HCO ₃ ⁻	2.44	0.04	2
Nitrate	NO ₃ ⁻	0	0	0
Total des anions		5.64	0.12	6
La silice	SiO ₂	0	0	0

V.1.1. Calcul des nouveaux volumes de résines

➤ V.1.1.1. Le lit cationique

- Eau brute

$$\Sigma \text{ Cations} = 1.68 \text{ meq/l}$$

➤ Calcul de la section

Connaissant le diamètre de la colonne (1400mm) ; on propose un nouveau diamètre de 1600 nous calculons la section

Nous avons pris en compte l'espace existant et les normes autorisées pour la construction d'une colonne

$$S = \Pi D^2/4 = 2.01 \text{ m}^2$$

➤ **Calcul de la salinité à éliminer par heure**

La salinité à éliminer par heure est égale à la somme des cations multipliée par le débit de production.

$$\text{Salinité/h} = 1.68 \text{ éq/m}^3 * 100 \text{ m}^3/\text{h} = 168 \text{ éq/h}$$

➤ **Détermination de la capacité utile**

La capacité utile est tirée à partir des courbes du fabricant de la résine en adoptant une quantité de régénérant et en tenant compte des rapports suivants :

$$\text{Na} / \Sigma \text{cations} = 0,57/1,68$$

$$\text{Alk} / \Sigma \text{anions} = 0,19/1,68$$

$$\text{Mg} / \Sigma \text{cations} = 1,18/1,44$$

$$\text{Na} / \Sigma \text{cations} = 0.339 \quad \text{soit } 34 \%$$

$$\text{Alk} / \Sigma \text{anions} = 0.819 \quad \text{soit } 82\%$$

$$\text{Mg} / \Sigma \text{cations} = 0.113 \quad \text{soit } 11\%$$

La quantité du régénérant est de: 80kg H₂SO₄ (100%) / m³

L'exploitation du nomographe (voir annexe N°3), nous conduit à une valeur de la capacité utile de 0.65 éq/l

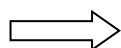
➤ **Le volume de résine nécessaire pour produire 560 m³ d'eau brute**

$$V = (S * t) / C$$

$$V = (168 \text{ éq/h} * 24 \text{ h}) / 0.65 \text{ éq/l} \quad \longrightarrow \quad V = 6203.07 \text{ litres}$$

➤ **La hauteur du lit**

La hauteur du lit se calcule en divisant le volume de résine par la section de la colonne



$$V_c = S \cdot h$$

$$h = V_c / S = 6.203 \text{ m}^3 / 2.01 \text{ m}^2$$

$$h = 3.08 \text{ m}$$

En tenant compte une expansion de 75% la hauteur devient:

$$H = 0.75 \cdot 3.08 + 3.08 = \mathbf{5.39 \text{ m.}}$$

La hauteur de la colonne existante permet de concevoir le volume calculé en deux chaînes la hauteur de chacune et de 2.7 m

V.1.1.2. Le lit anionique

Nous appliquons le même raisonnement pour ce lit.

- **Eau brute**

$$\Sigma \text{ anions} = 1.44 \text{ méq/l}$$

- **Calcul de la section**

Connaissant le diamètre de la colonne (1400mm) ; on propose un nouveau diamètre de 1600 nous calculons la section

$$S = \Pi D^2 / 4 = 2.01 \text{ m}^2$$

- **Calcul de la salinité à éliminer par heure**

La salinité à éliminer par heure est égale à la somme des anions multipliée par le débit de production.

$$\mathbf{Salinité/h} = 1.44 \text{ méq/l} \cdot 100 \text{ m}^3/h = 144 \text{ eq/h}$$

- **Détermination de la capacité utile**

La capacité utile est tirée à partir des courbes du fabricant de la résine en adoptant une quantité de régénérant et en tenant compte des rapports suivant :

$$SO_4 / \Sigma \text{ anions} = 3\%$$

$$SiO_2 / \Sigma \text{ anions} = 0\%$$

La quantité du régénérant est donnée par le fabricant de la résine:

$$NaOH (100\%) = 80 \text{ kg/ m}^3$$

La capacité utile = 0.54 éq/l

➤ **Le volume de résine nécessaire pour produire 560 m³**

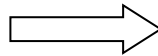
S : la salinité éliminée par heure.

t : temps de production.

C : capacité utile d'échange.

$$V = (S * t) / C$$

$$V = (144 \text{ eq/h} * 24 \text{ h}) / 0.54 \text{ eq/l}$$

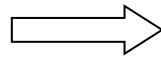


$$V = 6400 \text{ litres}$$

➤ **La hauteur du lit**

La hauteur du lit se calcule en divisant le volume de résine par la section de la colonne

$$V_c = S * h$$



$$h = V_c / S = 6.400 \text{ m}^3 / 2.01 \text{ m}^2$$

$$h = 3.18 \text{ m}$$

En tenant compte une expansion de 75% la hauteur devient:

$$H = 0.75 * 3.18 + 3.18 = 5.56 \text{ m.}$$

La hauteur de la colonne existante permet de concevoir le volume calculé en deux chaînes la hauteur de chacune et de 2.8 m

V.1.1.3. Le lit mixte

En général pour un lit de finition, une hauteur de 0,5 m pour chacune des résines est suffisante, ce qui nous a permis de garder la troisième colonne de l'installation actuelle qui est d'une hauteur de résine de 1,3 m sans apporter aucune modification des volumes des résines.

V.1.2. Calcul des quantités des régénérant

V.1.2.1. L'acide sulfurique

L'acide sulfurique disponible est d'une concentration de 98%.

La quantité d'acide sulfurique dilué à 10% nécessaire à la régénération de 1200 litre de résine cationique est de **1860l**.

Le nouveau volume de résine cationique est de 6203.07 litre, le volume d'acide sulfurique à 10% nécessaire sera donc :

$$V_{H_2SO_4 (10\%)} = 1860 * 6203.07 / 1200$$

$$V_{H_2SO_4 (10\%)} = 9614.751$$

➤ **Le volume d'acide sulfurique à 98% :**

$$d (H_2SO_4) = 1.84$$

$$M(H_2SO_4) = 98g/mol$$

$$C = n/V = m/M * 1/V$$

$$d = m/V$$

$$C = d/M$$

$$C_{(10\%)} = 1.84 * 0.1 * 1000 / 98$$

$$C_{(10\%)} = 1.88 \text{ mol / l}$$

$$C_{(98\%)} = 1.84 * 0.98 * 1000 / 98$$

$$C_{(98\%)} = 18.4 \text{ mol l}$$

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \quad \longrightarrow \quad = 1.88 * 6203.07 / 18.4$$

$$V_2 = 633.79 \text{ liters}$$

V.1.2.2. La soude caustique

La quantité de soude caustique à 30% nécessaire à la régénération de 800 litre de résine anionique est de 284 l.

Le nouveau volume de résine anionique est de 6400 litre, le volume de soude caustique à 30% nécessaire sera donc :

$$V_{NaOH (30\%)} = 284 * 6400 / 800$$

$$V_{NaOH (30\%)} = 2272 \text{ l}$$

La concentration de la soude caustique à 30% est de 9,96 mol/l

La masse molaire de NaOH est de 40g/mol

La masse de NaOH équivalente à 2271 l sera donc **905.16Kg**

V.1.3. Calcul des eaux de service

Ces eaux correspondent à celles nécessaires pour la régénération des résines.

- **Lavage du lit cationique**

Un rinçage lent (30 min) avec une vitesse de 3BV/h

$$\begin{array}{l}
 3\text{BV} \quad \longrightarrow \quad 1\text{heure} \\
 \text{V1} \quad \longrightarrow \quad 30 \text{ min (0.5h)}
 \end{array}
 \quad \Longrightarrow \quad
 \begin{array}{l}
 \text{V1} = 1.5\text{BV} \\
 = 1.5 * 1.792 = \mathbf{2.69 \text{ m3}}
 \end{array}$$

Un rinçage rapide (20 min) avec une vitesse de 10BV/h.

$$\begin{array}{l}
 10\text{BV} \quad \longrightarrow \quad 1\text{heure} \\
 \text{V2} \quad \longrightarrow \quad 20 \text{ min (1/3h)}
 \end{array}
 \quad \Longrightarrow \quad
 \begin{array}{l}
 \text{V2} = 10 * 1.792 / 3 \\
 = \mathbf{5.97 \text{ m3}}
 \end{array}$$

$$\mathbf{V \text{ total} = V1 + V2 = 8.66 \text{ m3.}}$$

- **Lavage du lit anionique**

Un rinçage lent (30 min) avec une vitesse de 4BV/h

$$\begin{array}{l}
 4\text{BV} \quad \longrightarrow \quad 1\text{heure} \\
 \text{V1} \quad \longrightarrow \quad 30 \text{ min (0.5h)}
 \end{array}
 \quad \Longrightarrow \quad
 \begin{array}{l}
 \text{V1} = 4 * 1.992 / 2\text{BV} \\
) = \mathbf{3.98 \text{ m3}}
 \end{array}$$

Un rinçage rapide (20 min) avec une vitesse de 14BV/h.

$$\begin{array}{l}
 14\text{BV} \quad \longrightarrow \quad 1\text{heure} \\
 \text{V2} \quad \longrightarrow \quad 20 \text{ min (1/3h)}
 \end{array}
 \quad \Longrightarrow \quad
 \begin{array}{l}
 \text{V2} = 14 * 1.992 / 3 \\
 = \mathbf{9.3 \text{ m3}}
 \end{array}$$

$$\mathbf{V_{\text{total}} = V1 + V2 = 13.28 \text{ m3}}$$

Volume de rinçage total :

$$\mathbf{V_{\text{rinçage total}} = 8.66 + 13.28 \approx 22 \text{ m3}}$$

➤ **Lavage lit mixte**

Le volume d'eau utilisé pour la régénération du lit mixte est d'environ **30 m³**

V.4. Evaluation économique

Après avoir effectué les calculs des volumes de résine nécessaire pour la nouvelle combinaison, nous avons pu déterminer les quantités des régénérants ainsi que les volumes d'eau nécessaires à la régénération ce qui nous a permis à passer à l'évaluation économique de l'opération envisagée.

Les tableaux suivants résument les couts d'exploitation d'un évaporateur et d'une chaine de déminéralisation

Tableau n° 06 : cout de la régénération du lit mixte

LIT MIXTE				
produit	unité	cout unitaire en Da	Quantité/Cycle	cout/Cycle
Soude caustique	Kg	13,72	113	1 550,36
acide sulfurique	litre	42,83	190	8 137,70
eaux de lavage	m ³	82,76	30	2 482,80
Total				12 170,86

Tableau n° 07 : cout de la régénération de la chaine de déminéralisation calculée.

CHAINE DE DEMINERALISATION					
produit	unité	cout unitaire en Da	Quantité/Cycle chaine primaire	cout/Cycle	Cout/par mois
Soude caustique	Kg	13,72	633.79	8695.59	208694.16
acide sulfurique	litre	42,83	905.16	38768.00	930432.00
eaux de lavage	m ³	82,76	50.00	4 138,00	99312.00
Total				516601.59	1238438.16
CoutRég Mixed bed/mois					365125.8
Total/mois					1603563.96

Tableau n° 08 : cout de production d'eau déminéralisée par distillation

EVAPORATEUR					
produit	unité	cout unitaire en DZD	Quantité/jour	cout/jours	cout/ mois
vapeur	tonne	294,12	192	56 471,04	1 694 131,20
acide sulfurique	litre	42,83	312	13 362,96	400 888,80
eaux de saumure	m ³	82,76	2080	172 140,80	5 164 224,00
Total				241 974,80	7 259 244,00
CoutRég Mixed bed/mois					24 341,72
Total/mois					7 283 585,72

Les données des trois tableaux ci-dessus laissent apparaître un écart financier assez important entre les coûts de production des deux procédés d'obtention d'eau déminéralisée.

Il apparaît donc clairement que le procédé d'échange d'ions préconisé aux termes de cette étude est économiquement plus avantageux dans la mesure où il procure un gain annuel que nous avons estimé comme suit :

$$\text{Gain mensuel} = 7\,283\,585,72 - 1603563,96$$

$$= 5\,680\,021,76 \text{ da}$$

$$\text{Gains annuel} = 5\,680\,021,76 * 12$$

$$= 681\,602\,61,12 \text{ da}$$

CONCLUSION

L'industrie pétrolière demeure souvent de nos jours soumise à de nombreux changements dans tous les domaines que ce soit en amont qu'en aval de ses unités de production qui se trouvent donc exposées à l'obligation de répondre toujours aux normes et exigences devant leur permettre de maintenir ou d'améliorer la qualité et d'augmenter les capacités de production par l'adaptation et l'optimisation de l'outil de production à l'effet de le rendre plus compétitif.

La proposition formulée à travers ce mémoire s'articule autour de quatre principaux axes qui nous ont incités à persévérer dans notre démarche et qui sont les suivants :

- Assurer la préservation de l'outil de production en l'occurrence les chaudières contre tous les risques inhérents à la mauvaise qualité de l'eau qui leurs sont desservies (entartrage, primage, corrosion etc...);
- Assurer une production d'eau déminéralisée en cas de dysfonctionnement ou d'arrêt des évaporateurs
- Assurer l'alimentation des chaudières en eau déminéralisée même à défaut de vapeur et reconstituer les stocks pendant les arrêts
- la faisabilité des modifications à opérer dans un premier temps sur les installations actuelles de la chaîne de déminéralisation.

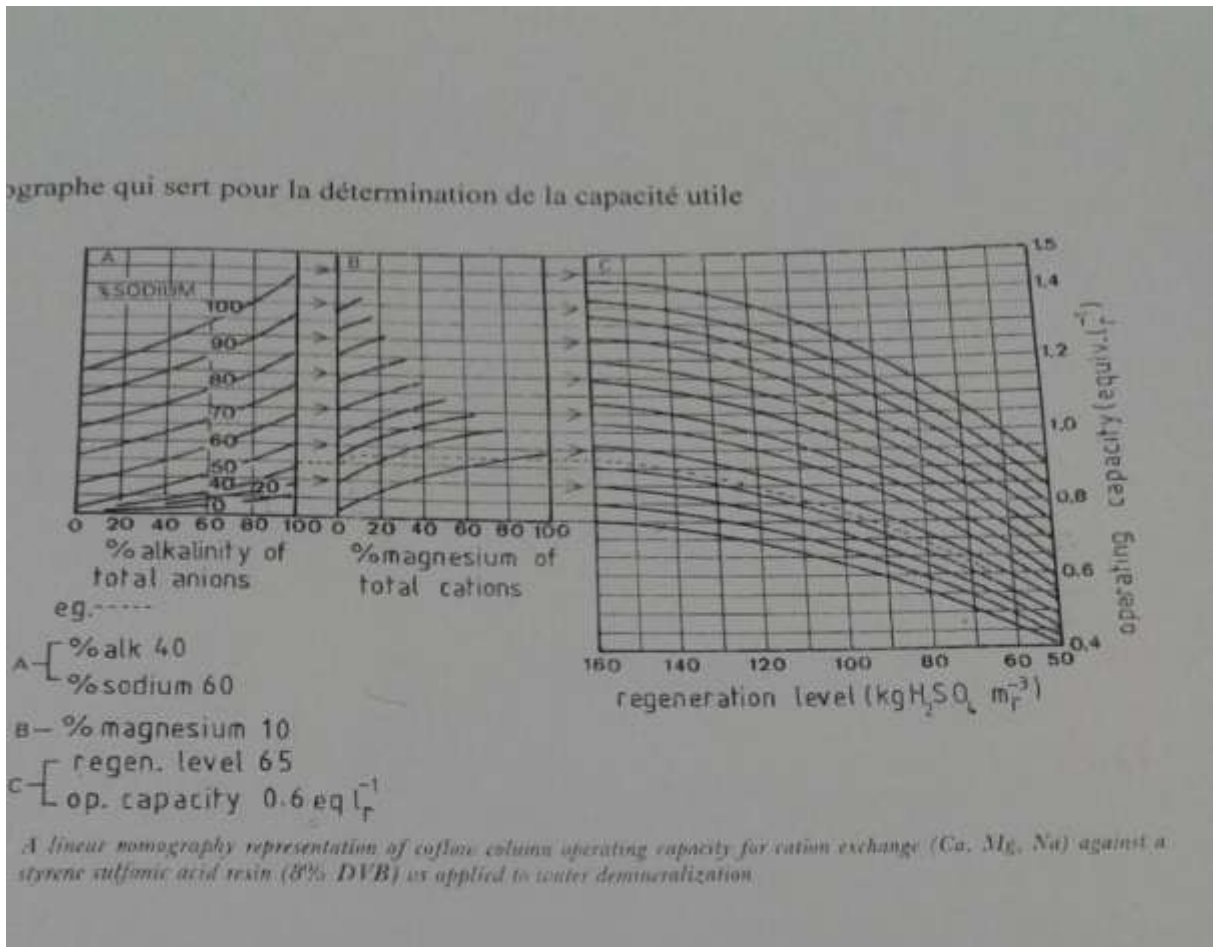
A l'effet d'intégrer une démarche de développement durable, il nous a été amenés à recommander dans le cadre de l'émergence de nouvelles technologies pertinentes, la mise en place du procédé d'échange ionique pour la production de l'eau déminéralisée à même

d'assurer un approvisionnement régulier et constant de la raffinerie d'ARZEW et subvenir ainsi à ses besoins notamment en matière de production de la vapeur.

Le procédé d'échange ionique est très adapté au traitement des eaux de chaudières. En effet, au-delà du fait qu'il garantit la pérennité des installations, il permet aussi de maintenir la qualité d'eau exigée dans la mesure où il offre la possibilité de faire face à tous changements qui pourraient intervenir dans l'approvisionnement en eau brute.

Sur le plan économique, notre évaluation a démontré que le cout de production d'eau déminéralisée par le procédé d'échanges ioniques est plus avantageux que celui actuellement utilisé.

Annexe 1 : Nomographe pour la détermination de la capacité utile de résine cationique



**PUROLITE A-400
(CO-FLOW REGENERATION)**

Fig. 7 BASE OPERATING CAPACITY

FOR REGENERANT TEMPERATURE OF 25°C* (75°F)
REGENERATION LEVEL NaOH, lb/ft³

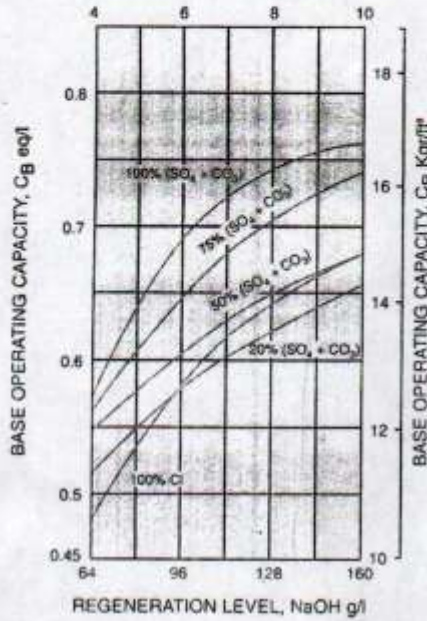


Fig. 8 BASE OPERATING CAPACITY

FOR REGENERANT TEMPERATURE OF 45°C* (120°F)
REGENERATION LEVEL NaOH, lb/ft³

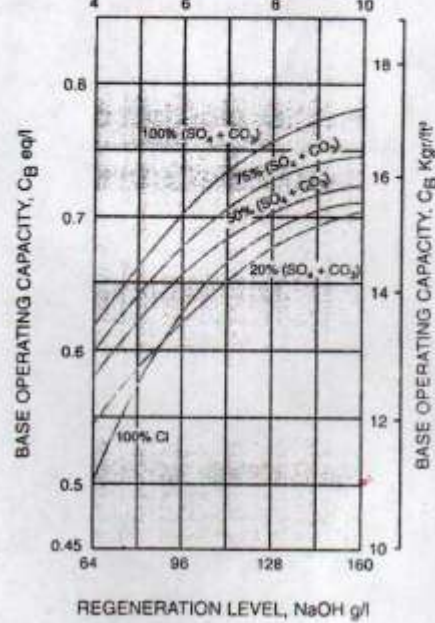


Fig. 9 CORRECTION FACTOR

FOR SILICA END POINT LEAKAGE

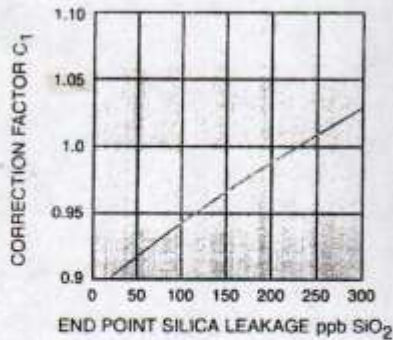
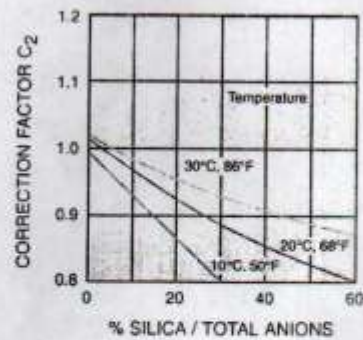


Fig. 10 CORRECTION FACTOR

FOR % SILICA / TOTAL ANIONS**



*Interpolate for temperatures between 25°C and 45°C

**Applicable to Regeneration at temperatures up to 30°C, 86°F. Correction for higher temperatures not required

[1] **AQUAPROX**, Traitement des eaux de refroidissement, édition TEC et DOC
Lavoisier, Paris, 2006

[2] **COMBESURE Mathieu, NIEZBORALA Cécile, l'eau ultra pure**

Obtention et application, office international de l'eau, service national d'information et de documentation sur l'eau (SNIDE), Février 2002 :

<http://www.oieau.org>

[3] **DARDEL François** Techniques de l'ingénieur, Echange d'ions, Principe de base, J 2 783
P 1-17, année : 1984 J 2 784 P 1-19.

DARDEL François Techniques de l'ingénieur, Echange d'ions, Technologie d'application,
J 2 784 P 1-19- année: 1984

[4] **DEGREMONT, Suez**, mémento technique de l'eau, tome 1, 1995.

[6] - Données techniques, courbes du fabricant, Purolite, résine C100,
- Données techniques, courbes du fabricant, Purolite, résine A 400,

[7] **DESJARDINS Raymond**, le traitement des eaux, 2 eme édition revue et Améliorée,
édition de l'école polytechnique, 1997.

[8] **EMILIAN Koller**, aide mémoire génie chimique, 2ème édition DUNOD 2004.

[9] Mahamat et al. J. Appl. Biosci. 2015 Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux
d'adduction publique de la Société Tchadienne des Eaux à N'djamena au Tchad

[10] **IADADÈNE.F, GUETTAF .H, SAGGOU.A.**

Caractérisation des résines échangeuses, N° 2, Février 1994.

[11] **SAVARY P.** (2010). Guide des analyses de la qualité de l'eau. *Ed. Territorial Voiron*. 261 p.

[12] **Cojan et Renard M.** (2003). Sédimentologie. Edition Dunod, France. 136pages.

[13] **RODIER J.** (2009). L'analyse de l'eau .9eme édition Dunod, Paris, 2009. ISBN 978-2-10- 054179-9. 1526p.

[14] **KEMMER F. N.** (1984). Manuel de l'eau. Technique & Documentation Lavoisier. ISBN 2-85206-220-8.

[15] **BELGHITI M.L., CHAHLAOUI A., BENGOUMI D., EL MOUSTAINE R.** (2013). Etude de La qualité physico -chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe

[16] : **Eric « ÉCHANGEURS D'IONS »**, le candidat exposera les principes de l'échange d'ion sur résine, et ses applications, 2012 pcsi3.lyceeberthelot.fr/IMG/PDF/Resines_-_21_mai_12.pdf. Consulté le 14/03/2013.

[17] : **T. V. ARDEN, F. de DARDEL**, « Opérations Chimiques Unitaires, Echanges d'ions », Extraits des cahiers techniques de l'ingénieur.

[18] : (1992), « **Echangeurs d'ions, résines absorbantes et catalyseurs** destinés au traitement de l'eau et de solutions diverses, à l'épuration d'eaux résiduelles et à la chimie », Ed Bayer, Lewatit, n°10.

[19] : **Erwan Beauvineau (2012)**, « TP 26 : Résines échangeuses d'ions – Complexométrie » bts.chimie.encpb.free.fr/11_12/TP/Gene/.../TPG23_resine_theorie.pdf consulté le 13/03/2013.

[20] : **université technique de Delft (1993)**, Pays Bas <http://www.lenntech.fr/bibliotheque/echange/echangeur-ions-principes.htm> consulté le 13/03/2013.

[21] : fdanieau.free.fr/cours/BTS/A1/stbi/chapitre7/EchangeDions.pdf consulté le

13/03/2013.

[22] : Frédéric GRESSIER (2008), « Etude de la rétention des radionucléides dans les résines échangeuses d'ions des circuits d'une centrale nucléaire à eau sous pression », THESE pour obtenir le grade de Docteur de l'Ecole des Mines de Paris Spécialité " Hydrologie et Hydrogéologie Quantitatives, édition MINES PARISTECH.

[23] : Nasreddine (2012), « **fonctionnalisation** ». www.dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/.../Partie-theorique-Chapitre3.pdf consulté le 14/03/2013.

[24] : R Desjardin (1988), « traitement des eaux », 3^{ème} trimestre.

[25] http://dardel.info/IX/applications_FR.html