



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des sciences et de la technologie  
Département de chimie industrielle

# MÉMOIRE DE MASTER

**Domaine : Sciences et Techniques**  
**Filière : Science de génie de l'environnement**  
**Spécialité : Génie des procédés de l'environnement**

Réf. : Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par :  
**ZEROUALI ADEL**

Le : jeudi 17 septembre 2020

## **L'impact physico - chimique de la qualité d'eau sur la chaudière à tube de fumée (l'industrie du textile)**

---

### **Jury :**

Mme ADJEL FATIMA	MCA	Université de Biskra	président
Mme ADAIKA KALTHOUM	MCB	Université de Biskra	Examineur
Mme DJEBABRA SIHEM	MCB	Université de Biskra	Encadreur

Année universitaire : 2019 - 2020



## *Dédicace*

*Ce modeste travail est dédié à :*

❖ *Mes chers parents*

❖ *Tous mes proches de la famille ZEROUALI, et plus particulièrement, mes sœurs et mes frères tout à son nom.*

❖ *Tous mes chers amis et mes collègues d'étude à l'université de MOHAMED KHIDER-BISKRA.*

❖ *Tous les étudiants de la promotion 2019/2020 de formation en génie des procédés de l'environnement.*

❖ *Tous les étudiants en département de la chimie industrielle.*

❖ *Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail soit réalisé.*





## REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma profonde gratitude, avant tout à Dieu le tout puissant qui m'a aidé et m'a donné le courage pour mener à terme ce modeste travail.

Je tiens à présenter mes humbles et sincères remerciements à mon encadreur, M<sup>me</sup> DJEBABRA SIHEM, pour tous ses conseils judicieux et son soutien tout au long de la préparation de ce travail, ainsi que pour sa patience et son aide précieuse.

Je remercie tous les membres du jury, M<sup>me</sup> ADJEL FATIMA et M<sup>me</sup> ADAIKA KALTHOUM qui ont accepté de participer et assisté à la valorisation de ce travail, je dois les remercier pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon projet de fin d'étude.

Je remercie tous les gens du laboratoire physico – chimique de traitement des eaux à l'entreprise TIFIB pour leurs efforts et l'ensemble des travaux effectués pour cette étude.

J'adresse mes remerciements à tous les enseignants de département de chimie industrielle en particulier l'équipe scientifique concerné par la spécialité en génie des procédés de l'environnement qui ont contribué à ma formation.

Enfin je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidé pour achever ce travail.



## **SOMMAIRE :**

**Page**

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
---------------------------	----------

### **CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'USINE ET FINALITE DE L'ETUDE**

I. 1- Présentation de l'entreprise TI.FI.B.....	4
I. 2- Raison sociale et coordonnées.....	4
I. 3- Activités et effectifs de l'entreprise.....	5
I. 4- Les départements du complexe.....	6
I. 5- Conception de l'étude à réaliser dans ce travail.....	8
I. 6- Finalité économique de traiter notre problématique.....	9

### **CHAPITRE II : LES CHAUDIERES INDUSTRIELLES**

II. 1- Introduction.....	11
II. 2- Définition scientifique.....	11
II. 3- Les types des chaudières.....	11
II. 3.1. Selon le mode d'emploi.....	11
II. 3.2. Selon la disposition générale.....	11
II. 3.3. Selon le mode de construction.....	12
II. 3.4. Selon le mode chauffage.....	12
II. 3.5. Selon la nature de la vapeur produite.....	12
II. 3.6. Selon la vitesse de circulation de l'eau.....	12
II. 4- Technologie des chaudières.....	12
II. 4.1. Chaudières en fonte.....	13
II. 4.2. Chaudières en acier.....	14
II. 5- Les chaudières à tubes de fumées.....	14

II. 6- Constitution globale des chaudières de vapeur.....	16
II. 6.1. Le foyer d'une chaudière.....	16
II. 6.2. Les tubes de fumées.....	17
II. 6.3. Brûleur.....	17
II. 6.4. Les surchauffeurs et resurchauffeurs.....	17
II. 6.5. Les économiseurs.....	18
II. 6.6. Evacuation des fumées.....	18
II. 6.7. Principaux circuits d'une chaudière .....	18
II. 7- Chaudières à tubes d'eau.....	19
II. 8- Comparaison des performances.....	20
II. 9- Les problèmes techniques d'une chaudière à tube de fumé.....	21
II. 9.1. Caractéristiques de l'eau et leur impact sur la chaudière.....	21
II. 9.2. Impact de la qualité d'eau.....	22
II. 9.3. Les normes d'exploitation pour éviter les problèmes techniques de chaudière .....	25

**CHAPITRE III : LES TECHNOLOGIES DU TRAITEMENT DES EAUX POUR LES EXIGENCES INDUSTRIELLES**

III. 1- Introduction.....	28
III. 2- Nature d'une eau brute et leur d'origine.....	28
III. 2.1. Les eaux souterraines.....	29
III. 2.2. Les eaux de surface.....	29
III. 3- Les technologies de Traitement de l'eau brute.....	30
III. 3.1. La filtration à travers un milieu poreux (classique).....	30
III. 3.2. La microfiltration.....	32
III. 3.3. Les procédés séparatifs membranaires.....	35
III. 3.4. Les procédés par échange d'ions.....	41

## CHAPITRE IV : L'IMPACT DES DIFFERENTES QUALITES D'EAU SUR LA CHAUDIERE DE VAPEUR

IV. 1- Description de la station du traitement des eaux (TIFIB).....	46
IV. 2- Description de la chaufferie (TIFIB).....	51
IV. 3- L'importance du laboratoire pour le contrôle et la protection.....	53
IV. 4- Le choix du protocole pour faire l'analyse sur un paramètre déterminé.....	53
IV. 4.1. Définition de terme ISO.....	53
IV. 4.2. Définition de la normalisation.....	54
IV. 4.3. Les différents types de normes ISO.....	54
IV. 5- Les principaux paramètres physico – chimiques pour déterminer la qualité d'eau.....	54
IV. 5.1. pH.....	56
IV. 5.2. La Couleur.....	56
IV. 5.3. La conductivité.....	57
IV. 5.4. Le fer ferreux.....	57
IV. 5.5. L'Oxygène dissous.....	57
IV. 5.6. Les Sulfates.....	58
IV. 5.7. L'Ortho-phosphate.....	58
IV. 5.8. L'alcalinité TA et TAC.....	58
IV. 5.9. La dureté totale TH.....	58
IV. 5.10. Les chlorures.....	59
IV. 6- Les paramètres influençant sur les problèmes techniques de la chaudière étudiée .....	60
IV. 6.1. Problème de dépôt.....	60
IV. 6.2. Problème de corrosion.....	61
IV. 7- Diagnostic physico – chimique sur les différentes qualités d'eau de la station.....	62
IV. 7.1. Caractéristiques physico – chimiques de l'eau brute (Forage Ain Ben Naoui).....	63
IV. 7.2. Caractéristiques physico – chimiques de l'eau potable .....	64
IV. 7.3. Caractéristiques physico – chimiques de l'eau douce (osmose inverse).....	66
IV. 7.4. Caractéristiques physico – chimiques de l'eau adoucie (échangeur d'ions).....	70

## **CHAPITRE V : INTERPRETATION DES ANALYSES ET LA SOLUTION TECHNIQUE PROPOSEE POUR LA CHAUDIERE**

V. 1- Le comportement physico – chimique de la chaudière vis – à – vis l’eau et le dosage...	74
V. 1.1. Application des analyses avec les représentations graphiques.....	74
V. 1.2. Les principaux obstacles pour la protection de la chaudière.....	81
V. 2- Une solution technique proposée pour avoir une meilleure protection de la chaudière..	82
V. 2.1. Les démarches pratiques de la solution proposée.....	82
V. 2.2. Mode opératoire pour un cycle du lavage.....	83
V. 2.3. Estimation du rendement de la solution proposée.....	85
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>87</b>
Références	

## Liste des figures

Figure I.1	Image de l'unité TIFIB par Googlemap, 28 mars 2020	Page 4
Figure I.2	Organigramme de l'entreprise	Page 7
Figure II.1	Une chaudière à fente (TIFIB)	Page 13
Figure II.2	Une chaudière en acier	Page 13
Figure II.3	Une chaudière à tube de fumées	Page 15
Figure II.4	Schéma représentatif de la composition d'une chaudière à tube de fumées	Page 15
Figure II.5	Le foyer	Page 16
Figure II.6	Les tubes de fumées	Page 17
Figure II.7	Le brûleur	Page 17
Figure II.8	Photo d'une cheminée	Page 18
Figure II.9	Photo d'un Pied de cheminée	Page 18
Figure II.10	Une chaudière à tubes d'eau	Page 19
Figure II.11	Photo des dépôts (tartre) sur un tube de fumée	Page 23
Figure II.12	Photo pour un exemple typique d'une rupture d'un tube causée par une surchauffe	Page 23
Figure II.13	Photo de corrosion du foyer dans une chaudière	Page 24
Figure III.1	Photo d'un Filtre à sable	Page 31
Figure III.2	Photo d'un Filtre à charbon actif (TIFIB)	Page 32
Figure III.3	Photo d'un Filtre à 2 matières (Sable – Charbon actif) TIFIB	Page 33
Figure III.4	Une cartouche de microfiltration	Page 34
Figure III.5	Une cartouche à fil bobiné	Page 34
Figure III.6	Une cartouche en propylène	Page 34
Figure III.7	Châssis des cartouches (TIFIB)	Page 34
Figure III.8	Principe de l'osmose inverse	Page 36
Figure III.9	Module d'osmose inverse	Page 38
Figure III.10	Photo des 3 Blocs d'osmose inverse (station de traitement des eaux, TIFIB)	Page 40
Figure III.11	Echange d'ions entre (calcium – sodium) par la résine sodique	Page 41
Figure III.12	Photo deux Adoucisseurs industrielles de type cationique (TIFIB)	Page 42
Figure III.13	Bac de SAUMURE	Page 43
Figure IV.1	4 filtres à un seul lit et 3 filtres à 2 matières	Page 46



Figure IV.2	Filtre à cartouches relie avec un bloc d'osmose inversée (TIFIB)	Page 47
Figure IV.3	Les trois blocs d'osmose inversée (TIFIB)	Page 47
Figure IV.4	Les deux échangeurs d'ions cationiques (TIFIB)	Page 48
Figure IV.5	Dégazeur (TIFIB)	Page 48
Figure IV.6	Bac de solution de régénération	Page 49
Figure IV.7	Schéma représentative de la station du traitement des eaux (TIFIB)	Page 50
Figure IV.8	Schéma représentative de la Chaufferie (TIFIB)	Page 52
Figure IV.9	pH mètre	Page 55
Figure IV.10	Conductimètre	Page 55
Figure IV.11	Spectrophotomètre	Page 55
Figure IV.12	Oxymètre	Page 56
Figure V.1	Représentation graphique du pH pour la bêche et la chaudière	Page 74
Figure V.2	Représentation graphique du TA pour la bêche et la chaudière	Page 75
Figure V.3	Représentation graphique du TAC pour la bêche et la chaudière	Page 75
Figure V.4	Représentation graphique du TH pour la bêche et la chaudière	Page 76
Figure V.5	Représentation graphique de la conductivité pour la bêche et la chaudière	Page 77
Figure V.6	Représentation graphique d'ortho-phosphate pour la bêche et la chaudière	Page 78
Figure V.7	Représentation graphique de l'oxygène dissous pour la bêche et la chaudière	Page 79
Figure V.8	Représentation graphique du sulfate pour la bêche et la chaudière	Page 80
Figure V.9	Représentation graphique du fer ferreux pour la bêche et la chaudière	Page 81

## Liste des tableaux

Tableau I.1	Effectifs de l'unité TIFIB.	Page 5
Tableau II.1	Comparaison des performances entre chaudières a tubes de fumées et a tubes d'eaux.	Page 20
Tableau II.2	Les normes d'eau d'alimentation des chaudières.	Page 25
Tableau II.3	Les normes d'eau de chaudière.	Page 26
Tableau III.1	Avantages et inconvénients des membranes organiques suivant leur composition.	Page 39
Tableau III.2	Comparaison des membranes organiques et minérales.	Page 39
Tableau IV.1	Les principaux paramètres physico – chimiques avec les méthodes d'analyses de références.	Page 55
Tableau IV.2	Caractéristiques de qualité des eaux de source.	Page 62
Tableau IV.3	Les analyses physico – chimiques sur l'eau brute.	Page 63
Tableau IV.4	Les analyses physico – chimiques sur l'eau potable durant mois de janvier.	Page 65
Tableau IV.5	L'efficacité du bloc n°2 par les analyses appliquées sur les 40 modules de filtration.	Page 68
Tableau IV.6	Les analyses réalisées sur la qualité d'eau adoucie et l'influence du lavage sur la dureté.	Page 71
Tableau V.1	La conductivité du bloc n°1.	Page 85

## Liste des abréviations

**TI.FI.B** : Tissage – Finissage, Biskra

**CDD** : contrat d'une durée déterminée

**CDI** : contrat d'une durée indéterminée

**H**: homme

**F**: femme

**NaCl** : chlorure de sodium

**µm** : micron mètre

**HCl**: acide chlorhydrique

**HNO<sub>3</sub>** : acide nitrique

**µS/cm** : micro siemens par centimètre

**NFT, NF EN** : norme française pour la qualité d'eau

**nm** : nano mètre

**TDS** : taux de sel, solide dissous dans l'eau

**EDTA** : Acide éthylène diamine tétra-acétique

**CE** : signification de conductivité

**MgSO<sub>4</sub>** : sulfate de magnésium

**CaHCO<sub>3</sub>** : carbonate de calcium

**Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** : sulfate de sodium

**R** : résine

**NaHCO<sub>3</sub>** : carbonate de sodium

**FeSO<sub>4</sub>** : sulfate de fer

Les générateurs de vapeur sont nécessaires dans l'industrie, ces équipements présentent des performances différentes et opérationnelles correspondent à des emplois de valeur ajoutée primordiale. Ces derniers temps, l'importance des problèmes techniques liés à cet équipement a augmenté ce qui justifie notre choix l'une des chaudières les plus fréquentes du secteur manufacturier pour l'étudier dans ce travail.

Afin de prévenir les situations indésirables dans les entreprises, les recherches sont effectuées dans le but de vérifier l'état de la chaudière, la qualité du respect des normes d'exploitation et les caractéristiques de l'eau consommée par cet équipement qui provoquent des problèmes monstrueux dans le fonctionnement de ce genre de générateur de vapeur tels que la corrosion et les dépôts de tartre.

Les applications de la vapeur dans l'industrie sont nombreuses, ce qui conduit les usines à explorer des traitements spécifiques moins coûteuses et fiables pour arriver à une meilleure protection de la chaudière. Il faut une grande expertise pour concevoir et exploiter les chaudières à vapeur, et plus important encore, pour fournir le support technique nécessaire qui aide le personnel à gérer la production optimale du vapeur.

Dans ce modeste travail, nous avons intéressé par la protection d'une chaudière à tubes de fumés contre les problèmes engendrées par les différentes qualités d'eau consommées durant sa production de vapeur. Ce mémoire comporte une introduction générale, trois chapitres théoriques représentant la revue bibliographique, deux chapitres qui sont consacrés pour les traitements appliqués sur la chaîne de production ce qui concerne l'eau d'alimentation vers la chaudière et les analyses réalisées pour comprendre les problèmes qu'on les doit traités durant ce travail et une conclusion clôture le mémoire.



# Partie 1

## Présentation théorique

**DESCRIPTION GENERALE**

**CHAPITRE 1**

**CHAPITRE 2**

**CHAPITRE 3**

# CHAPITRE 1

Présentation de l'usine et  
finalité de l'étude

---

## I. 1- Présentation de l'entreprise TI.FI.B :

L'entreprise TI.FI.B est située dans la zone industrielle de Biskra chef-lieu de la Wilaya. Elle est issue de la restructuration des entreprises mères SONITEX et ELATEX, devenues filiale en 1998 sous le portefeuille du groupe textile TEXMACO. Elle est spécialisée dans la fabrication de draperie de haute qualité à base de laine 100% et de mélange (polyester-laine, polyester-viscose) et autres tissus spécifiques. Le produit de TI.FI.B a été agréé et a bénéficié du « label international WOOLMARK ».

Sa capacité de production est de 6.000.000 mètre par an. Son parc machine est composé exclusivement d'équipements d'une technologie avancée (métiers à tisser SULZER) auquel viennent s'ajouter des annexes techniques d'une grande importance. [1]

## I. 2- Raison sociale et coordonnées :

- Groupe : ALGERIENNE DES TEXTILES (TEXALG).
- Etablissement : Complexe lainier TISSAGE-FINISSAGE, BISKRA, SPA, au capital social 839.000.000DA.
- Adresse : BP 130 RP – zone industrielle Biskra.
- Tel : 033.75.41.83                      Fax : 033.75.41.65
- N° de compte courant : BNA 00100387030000000679
- E-mail : [tifibiskra@hotmail.com](mailto:tifibiskra@hotmail.com).



Figure I.1 : Image de l'unité TIFIB par Google map, 28 mars 2020

### I. 3- Activités et effectifs de l'entreprise :

TIFIB est un complexe lainier qui utilise comme matières premières principales: la laine, mélange PES-laine, et parfois le coton, l'acrylique, la viscose et mélanges.

Le complexe produit plusieurs gammes d'articles textiles et tout dépend de la matière première utilisée, par exemple :

- Le **W1** (100% laine).
- Le **W7** (mélange polyester) / viscose.
- Le mélange: polyester/laine.
- Le mélange: coton/polyester.
- Le **satin** 270g/m<sup>2</sup>.
- La **cretonne** : coton 100%.
- L'**acrylique** 100%, etc....

**Effectifs de l'entreprise :** Le tableau ci-dessous présente le nombre total de l'effectif du complexe avec leurs structures et leurs catégories socioprofessionnelles et leurs types de contrats. [2]

**Tableau I.1 :** Effectifs de l'unité TIFIB

Groupe structure	Exécution				Maitrise				Cadre				Total
	CDI		CDD		CDI		CDD		CDI		CDD		
	H	F	H	F	H	F	H	F	H	F	H	F	
<b>Direction + Service sécurité</b>	25	0	2	0	1	1	0	0	2	1	4	0	<b>310</b>
<b>D. ressources humaines et moyens</b>	8	2	7	5	8	0	0	0	3	0	1	0	
<b>D.F.C</b>	0	1	0	0	2	0	0	1	1	0	1	0	
<b>D.A.C</b>	9	2	1	1	5	0	0	1	3	0	0	0	
<b>D. maintenance</b>	15	0	17	0	17	0	1	0	3	1	2	0	
<b>D. exploitation</b>	67	19	31	5	21	4	0	0	8	0	1	0	
<b>Total</b>	148		69		59		3		22		9		
	<b>217</b>				<b>62</b>				<b>31</b>				



## I. 4- Les départements du complexe :

Le Complexe «TIFIB» fait partie des complexes de l'algérienne des textiles « TEXALG », le complexe comporte des ateliers, des annexes et les services d'administration :

- **LE MAGASIN FIL** : le stock de la matière première ou les filés en forme de bobines.
- **LA PREPARATION** : la préparation au tissage a pour rôle de présenter la matière textile dans des formes appropriées au tissage.
- **LE TISSAGE** : la production de tissu.
- **LE PIQURAGE** : le contrôle et la réparation des tissus.
- **LE MAGASIN DE TISSU ECRU** : le stock des tissus é crus.
- **LE FINISSAGE SEC ET HUMIDE** : le lavage et l'apprêtage des tissus.
- **LE MAGASIN DES PRODUITS FINIS** : le stock des tissus finis.

### ➤ Les annexes :

- **LA CHAUFERIE** : la production de l'énergie thermique.
- **L'ANNEXE THECHNIQUE** : le service électrique et le service mécanique.
- **LA FORMATION** : la formation des nouveaux ouvriers.
- **L'ADMINISTRATION** : le service administratif.
- **LA CANTINE** : le restaurant.
- **LE TRATEMENT DES EAUX** : l'épuration et le traitement de l'eau.
- **LE POSTE ELECTRIQUE** : poste de distribution de l'énergie électrique.

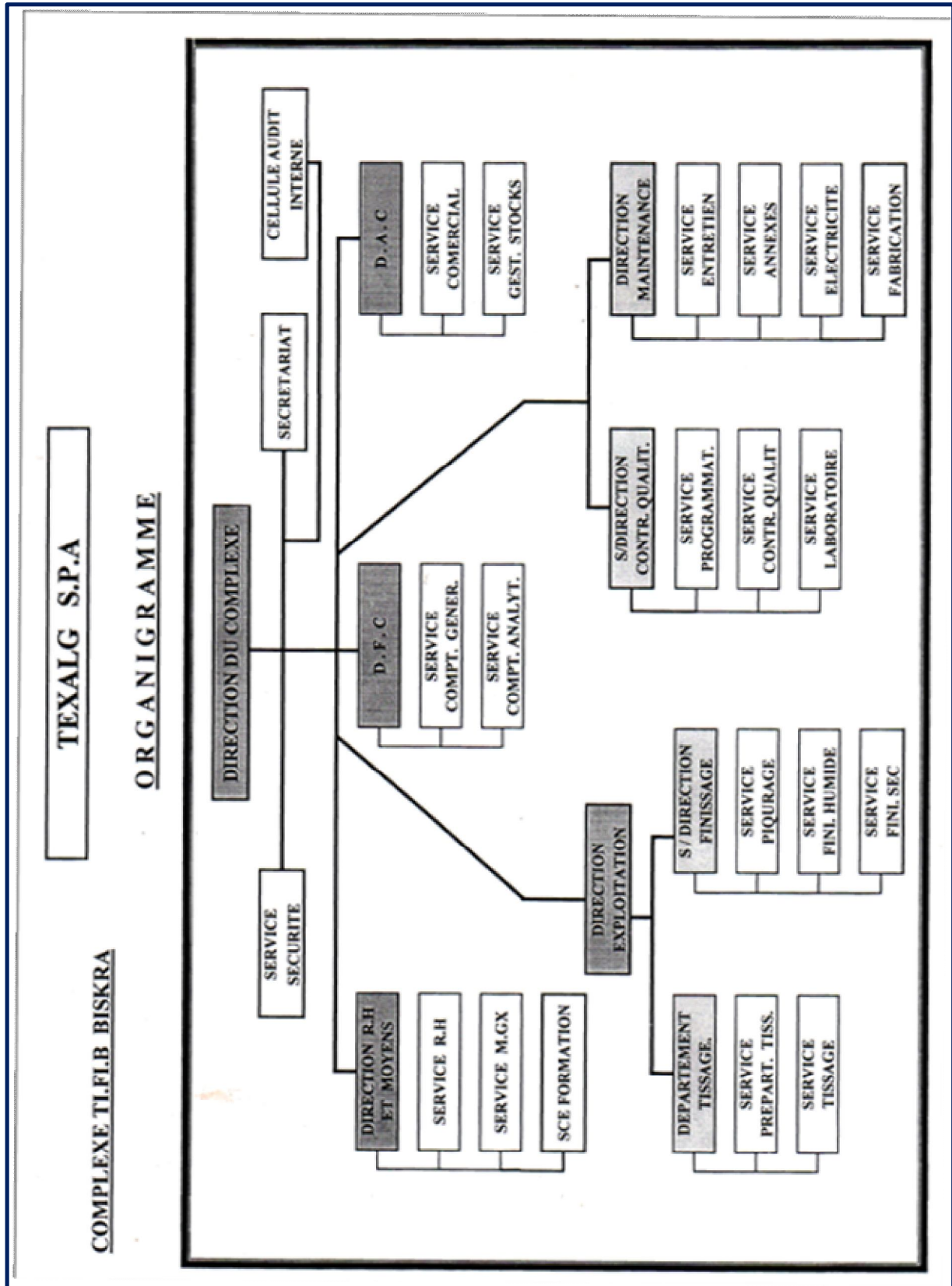


Figure I.2 : Organigramme de l'entreprise

## I. 5- Conception de l'étude à réaliser dans ce travail :

Dans les usines industrielles où l'utilisation de production de vapeur est une source principale pour l'activité de différentes machines, l'eau d'alimentation des chaudières doit être pure pour être compatible avec tous les matériaux utilisés dans tous les circuits et les équipements. Toutefois l'eau à l'état naturel superficielle ou souterraine, n'est jamais "pure"; c'est un milieu vivant qui se charge très rapidement de divers éléments en contact des milieux qu'elle traverse et sur lesquels elle ruisselle. [3]

Le traitement des eaux des chaudières est donc une étape indispensable pour obtenir la qualité d'eau alimentaire désirée. De nos jours, le traitement de l'eau qui est utilisé pour produire la vapeur dans tous les types de chaudière représente un des filiales les plus complexes à étudier, une bonne compréhension sur les chaudières et leurs comportements devant la qualité d'eau exploitée vont faciliter le choix des technologies de traitement des eaux, augmenter le rendement de production du vapeur et minimiser les risques techniques concernant la chaudière industrielle. [4]

Toute chaudière industrielle a besoin d'être contrôlée afin que l'homme soit sûr de l'exécution des tâches qu'il leur a assignées et de prendre également en compte tout ce qui est sûreté et sécurité de fonctionnement. Le laboratoire physico – chimique est l'un des services les plus importants pour assurer le contrôle journalier de la chaudière et leur rendement de vapeur plus le déroulement des technologies de traitement des eaux.

La communication dynamisée entre les responsables de chaufferie et le laboratoire facilite l'intervention rapide sur tous les problèmes techniques (corrosion – tartre – rupture des tubes de chaudière – l'excès de la consommation des produits chimiques) qui peuvent être perturbé ou provoqué des accidents du travail.

Dans ce travail, on fait présenter le service chaufferie, les composants de la chaudière, le laboratoire et ces analyses, la ligne du traitement des eaux pour détecter les problèmes dans chaque étape afin de protéger la chaudière contre les grands risques et réduire les pertes économiques et logistiques.

## I. 6- Finalité économique de traiter notre problématique :

Comme pour tous les domaines industriels, la tendance en terme de protection contre la corrosion s'oriente vers des procédés et des produits durables et de plus en plus respectueux de l'environnement mais, surtout résistants et moins chers. L'objectif d'une chaudière à tube de fumé est de produire la vapeur d'eau qui est utilisée dans des autres équipements et machines dans la sous direction de production finissage (traitement humide et sèche des différents tissus), on peut déduire que jusqu'à 80% des traitements appliqués aux tissus nécessitent la production permanente de la chaudière et toute panne engendre un arrêt totale des machines exploitées dans la S/Direction F. D'après le service (Temps et méthodes), une panne dans la chaudière peut provoquer un arrêt total de 4 heures des machines et ça signifie presque 6000 mètre linéaire du tissu non traité qui représente une perte de 2,04 millions DA par jours si le type de tissu traité est A15 par exemple. [5]

Selon les constructeurs des chaudières industrielles et les professionnels spécialisés dans des différentes industries, la protection de la chaudière contre les risques techniques dépend à la qualité d'eau. Pour assurer cette qualité, il faut une installation de traitement qui consiste par des opérations fondamentales de filtrations, ces opérations peuvent être utilisées séparément ou conjointement avec d'autres pour pouvoir s'adapter à n'importe quelle fourniture d'eau et à n'importe quel type de chaudière. [6]

Le choix des procédés de traitement et la valeur des produits chimiques utilisables sont jugées en fonction des résultats obtenus et de coût d'investissement. Suivant les chiffres approximatifs calculés par le service (Temps et méthodes), on observe qu'il ya un excès sur la consommation des produits chimiques par exemple : le cas de la régénération de l'adoucisseur existé à la station du traitement des eaux consomme une quantité de 1500 Kg de sel industriel (NaCl) pour une durée de travail de 6 heures de l'adoucissement, par contre la régénération est effectuée que si on arrivera au point de saturation et ça d'après les professionnels de la station on l'atteindre après 30 heures d'exploitation de l'adoucisseur avec une consommation de 750 Kg de sel dans les conditions normales. [7].

Dans ce travail, on doit déterminer toutes les anomalies techniques dans chaque opération et donner les remèdes les plus convenables, moins chers et faciles à réaliser.



# CHAPITRE 2

Les chaudières industrielles

---

## II. 1- Introduction :

Les productions de vapeur ou d'eau chaude occupent une place prépondérante dans la majeure partie des activités industrielles (alimentaires ou non). Ce dispositif permettant de chauffer l'eau et de produire de la vapeur si l'eau est chauffée au-delà de la pression atmosphérique est la chaudière.

Une chaudière est un appareil dans lequel, par apport de chaleur, un fluide caloporteur subit un chauffage et éventuellement un changement d'état (la vaporisation). La chaudière est, en fait, un générateur de vapeur. La vapeur d'eau est obtenue à l'aide de l'eau et de la chaleur dégagée par la combustion des combustibles.

Industriellement, on utilise les chaudières pour produire la vapeur nécessaire au fonctionnement des procédés. La source de chaleur peut-être fournie par un combustible (gaz, fioul, charbon...) ou une résistance électrique.

## II. 2- Définition scientifique :

Une chaudière est un système permettant d'augmenter la température d'un fluide caloporteur afin de transporter de l'énergie thermique. [8]

## II. 3- Les types des chaudières :

Il existe une grande variété de types de chaudières différentes. Dans une chaudière, l'eau peut être successivement échauffée (chaudière à eau chaude), simplement vaporisée (chaudière à vapeur saturée) et surchauffée (chaudière à vapeur surchauffée). Ce qui donne une idée globale des types de chaudières en fonction de la vapeur produite. [3]

On peut classifier les chaudières suivant différents critères :

### II. 3.1. Selon le mode d'emploi :

Selon ce mode on distingue :

- Les chaudières fixes.
- Les chaudières mobiles avec l'application à la traction motrice.

### II. 3.2. Selon la disposition générale :

On distingue dans ce mode :

- Les chaudières horizontales.
- Les chaudières verticales.

### **II. 3.3. Selon le mode de construction :**

Il y a dans ce mode, trois types de chaudières :

- Les chaudières à bouilleurs.
- Les chaudières à tubes fumées.
- Les chaudières à tubes d'eau ou à faisceaux tubulaires.

C'est ce mode de classification qui est utilisé en pratique. Cependant, il existe d'autres modes de classification qui sont tout aussi employés que celui-ci.

### **II. 3.4. Selon le mode chauffage :**

Dans ce mode, on se base sur la disposition du foyer ; ainsi, on distingue :

- Les chaudières à foyer intérieur à l'appareil
- Les chaudières à foyer extérieur.

### **II. 3.5. Selon la nature de la vapeur produite :**

La nature de la vapeur générée par une chaudière est en étroite relation avec la pression de vapeur établie. On distingue alors :

- Les chaudières à basse pression :  $P < 5$  bars
- Les chaudières à moyenne pression :  $5 \text{ bars} < P < 45$  bars
- Les chaudières à haute pression : jusqu'à la pression critique qui est  $P = 225,5$  bars
- Les chaudières à pression supercritique :  $P > 225,5$  bars

### **II. 3.6. Selon la vitesse de circulation de l'eau :**

Selon ce mode de classification, on distingue quatre classes de chaudières :

- Classe A : ce sont les chaudières dites sans circulation :  $V < 1$  m/s
- Classe B : ce sont les chaudières dites à circulation modérée :  $1 < V < 5$  m/s
- Classe C : ce sont les chaudières dites à circulation accélérée :  $5 < V < 9$  m/s
- Classe D : ce sont enfin les chaudières à circulation forcée :  $V \geq 10$  m/s. [3]

## **II. 4- Technologie des chaudières :**

La construction des chaudières dépend des facteurs suivants :

- La nature du fluide caloporteur (eau chaude, vapeur d'eau saturée, vapeur surchauffée).
- Les conditions de service (état physique : pression et température).
- La nature du combustible (solide, liquide, gazeux).
- La mise en œuvre du combustible (manuelle, mécanique, brûleurs,...).

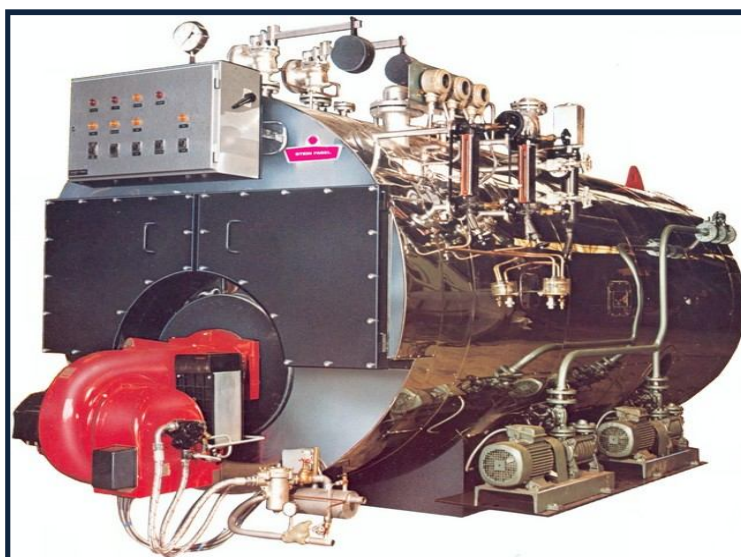


Les constructeurs ont développé de très nombreux types de chaudières. Celles-ci subissent d'ailleurs constamment des modifications à la suite des progrès scientifiques et technologiques ;

Les chaudières, au point de vue construction peuvent être en fonte ou en acier. [9]



**Figure II.1 :** Une chaudière à fente (TIFIB)



**Figure II.2 :** Une chaudière en acier

#### **II. 4.1. Chaudières en fonte :**

Les différents éléments d'une chaudière en fonte sont obtenus par moulage à partir d'un modèle. Les chaudières en fonte se rencontrent dans la gamme des petites et moyennes puissances (puissances inférieures à 2000 tonne/h). Ce sont généralement des chaudières à eau chaude.

## II. 4.2. Chaudières en acier :

Les chaudières en acier sont obtenues par soudage à partir de tôles et de tubes. Il est alors possible de réaliser les formes les plus diverses. Ces chaudières sont utilisées pour toutes les gammes de puissances. Ce type de construction est indispensable pour les appareils à forte pression contenant de l'eau (à plus de 110°C) ou de la vapeur (à plus de 0,50 bars). [4]

## II. 5- Les chaudières à tubes de fumées :

Ce type de chaudière fournit un débit de vapeur saturée de 1 à 25 tonnes/heure, en basse et moyenne pression. Le combustible utilisé est soit du gaz soit du fioul.

Les chaudières à tubes de fumées sont des chaudières à circulation naturelle. Le volume de l'eau chauffée est assez important. Si ces chaudières sont chauffées au fuel, ou au gaz, elles peuvent alors être conduites de façon automatisée. Elles sont très compactes et peuvent donc être entièrement montées et essayées en atelier avant d'être expédiées sur le site pour la mise en marche. Mais à partir de 20 bars, cette construction devient délicate à cause des épaisseurs à prévoir pour le corps.

La puissance de ces chaudières est relativement faible. De nos jours, la production maximale de vapeur est de 30 tonnes/heure pour une pression maximale de 25 bars.

Le principe même de ces chaudières ne se prête guère à l'obtention de vapeur surchauffée. Cependant, la production de vapeur surchauffée est possible. Le surchauffeur est alors placé, soit dans la boîte de retour, soit dans la chambre de réversion. Dans ces types de chaudière c'est le tube foyer, où se déroule la combustion qui risque le plus de détérioration par la surchauffe du métal (rayonnement des flammes). Pour limiter sa température, il est nécessaire de maintenir parfaitement propre la surface extérieure du tube foyer afin d'obtenir un échange thermique optimal. Le tube foyer, qui se trouve dans le ballon même de la chaudière, sous le plan d'eau, collecte les gaz chauds en sortie de brûleur. Les gaz chauds, accumulés dans un premier caisson à l'arrière de la chaudière, sont véhiculés par un groupe de tubes immergés dans l'eau du ballon vers un second caisson à l'avant de la chaudière. [9]

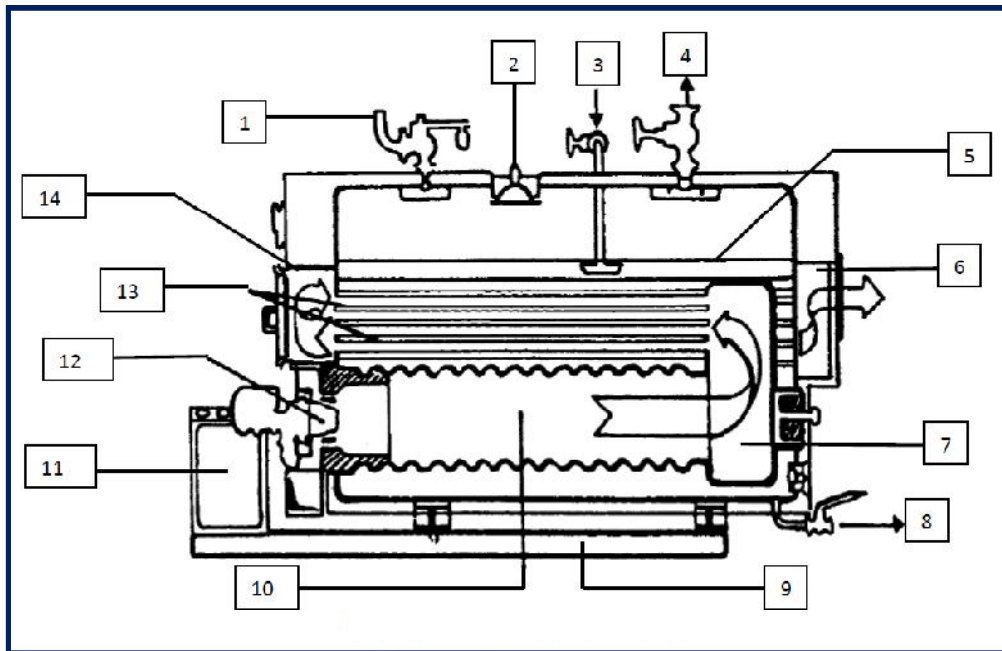


Figure II.3 : Une chaudière à tube de fumées

Il y a donc circulation des gaz de combustion dans des tubes assurant, par conduction vers l'eau de la cuve, la vaporisation par apport de calories. Un second groupe de tubes immergés emmène les gaz vers un troisième caisson à l'arrière de la chaudière, ce troisième caisson débouche sur la cheminée pour évacuation des fumées vers l'extérieur.

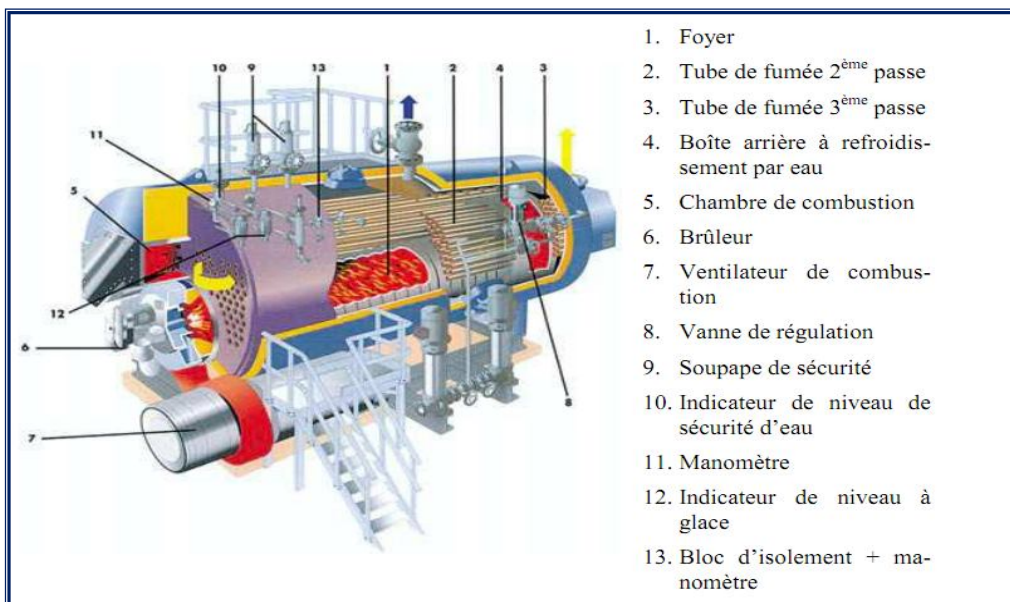


Figure II.4 : Schéma représentatif de la composition d'une chaudière à tube de fumées

## II. 6- Constitution globale des chaudières de vapeur:

Les chaudières se composent de diverses surfaces d'échange appelées surfaces de chauffe et de réservoirs. Les surfaces de chauffe comportent plusieurs parties :

- a) Une partie principale où se produit le chauffage (eau chaude et eau surchauffée) ou la vaporisation ;
- b) Des parties auxiliaires (pas toujours existantes dans les petites chaudières) dans lesquelles se déroulent divers échanges de chaleur tels que :
  - ✓ Le réchauffeur d'air de combustion ;
  - ✓ Le réchauffeur d'eau d'alimentation (économiseur) ;
  - ✓ Le surchauffeur de vapeur ;
  - ✓ Et éventuellement, le surchauffeur de vapeur. [9]

### II. 6.1. Le foyer d'une chaudière :

Le foyer est dit intérieur quand il est placé à l'intérieur d'un des corps cylindriques de la chaudière, l'eau se trouvant autour du foyer.

Le foyer est dit extérieur quand les flammes et les fumées se développent à l'extérieur du ou des corps cylindriques constituant la chaudière. L'ensemble est enfermé dans une enceinte en maçonnerie réfractaire munie de chicanes obligeant les gaz de la combustion à balayer la surface extérieure des corps avant de se rendre à la cheminée.

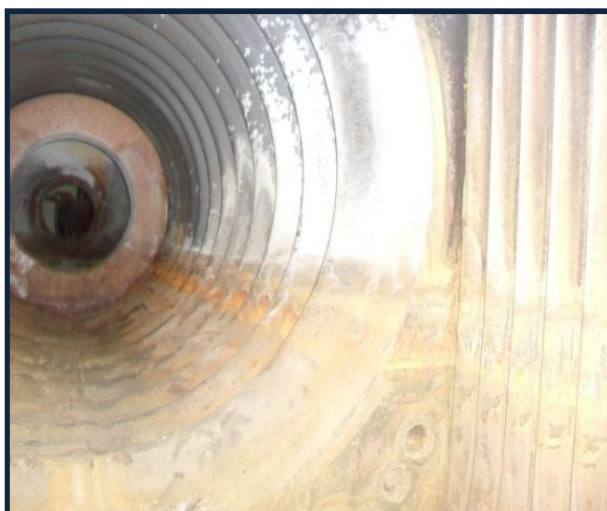


Figure II.5 : Le foyer

### II. 6.2. Les tubes de fumées :

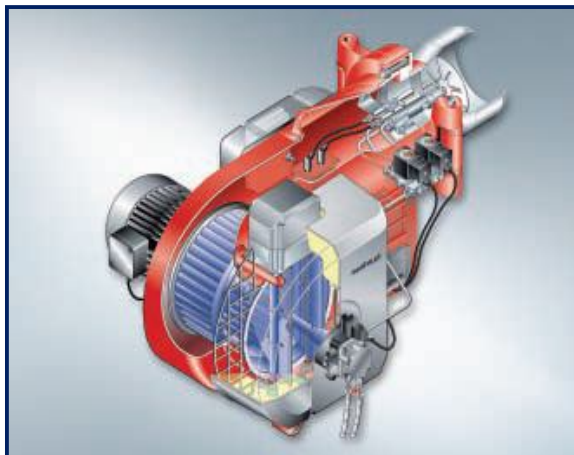
Ces tubes, dudgeonnés sur le fond des corps, sont en contact avec l'eau par leur surface extérieure, et parcourus intérieurement par les gaz chauds.



**Figure II.6 :** Les tubes de fumées

### II. 6.3. Brûleur:

Les brûleurs ont comme rôle de transformer l'énergie contenue dans les combustibles en chaleur utile. Habituellement, les chaudières à grand volume d'eau fonctionnent aux combustibles liquides et/ou gazeux.



**Figure II.7 :** Le brûleur

### II. 6.4. Les surchauffeurs et resurchauffeurs :

Les surchauffeurs et resurchauffeurs sont constitués d'une série de serpentins tubulaires généralement identiques dont l'une des extrémités est raccordée sur un tube de gros diamètre ou collecteur d'entrée de vapeur et l'autre sur un élément semblable ou collecteur de sortie.

### II. 6.5. Les économiseurs :

Placés sur le circuit des fumées, immédiatement après les derniers faisceaux du générateur dans les chaudières moyennes, à la suite des surchauffeurs et resurchauffeurs dans les installations de grandes puissances, les économiseurs peuvent être en fonte ou en acier.

Ils sont constitués de tubes dont le nombre et la longueur varient selon :

- Le volume des fumées ;
- Les températures d'entrée et de sortie des fumées ;
- Les températures d'entrée et de sortie de l'eau d'alimentation ;
- L'espace dont on dispose à l'intérieur de la chaudière ou à l'extérieur. [9]

### II. 6.6. Evacuation des fumées :



Figure II.8 : Photo d'une cheminée



Figure II.9 : Photo d'un Pied de cheminée

### II. 6.7. Principaux circuits d'une chaudière :

Les principaux circuits d'une chaudière sont :

- Le circuit d'eau d'alimentation de la chaudière ;
- Le circuit d'alimentation en combustible ;
- Le circuit d'alimentation en air ;
- Le circuit d'eau chaude ou de vapeur (saturée ou surchauffée) produite,
- Le circuit d'extraction des fumées produites par combustion.

Le fonctionnement d'une chaudière fait essentiellement intervenir trois facteurs :

- ✓ La combustion d'un combustible (ou la production de chaleur à partir de sources électrique et nucléaire respectivement pour les chaudières électriques et nucléaires) ;

- ✓ Le passage des fumées de combustion dans la chaudière depuis le foyer de combustion jusqu'à la cheminée.

Et le transfert de chaleur des produits de la combustion au fluide caloporteur (de l'eau essentiellement dans le cadre de cette étude). [6]

## II. 7- Chaudières à tubes d'eau :

Ce type de chaudière possède deux réservoirs appelés ballon distributeur (en partie inférieure) et ballon collecteur (ou encore ballon de vaporisation, en partie supérieure), reliés par un faisceau de tubes vaporisateurs, dans cet ensemble circule l'eau qui se transforme en vapeur.

Les gaz chauds produits par le brûleur sont directement en contact avec les tubes vaporisateurs, à l'intérieur de ceux-ci se produit la vaporisation. La vapeur ainsi générée est collectée dans le ballon supérieur, l'eau excédentaire est ramenée vers le ballon inférieur par des tubes de chute non soumis à la chaleur. Dans le domaine des hautes pressions, une pompe peut être installée pour faciliter cette circulation du haut vers le bas.

Il y a donc circulation de l'eau dans des tubes placés à l'intérieur d'une enceinte contenant les gaz chauds.

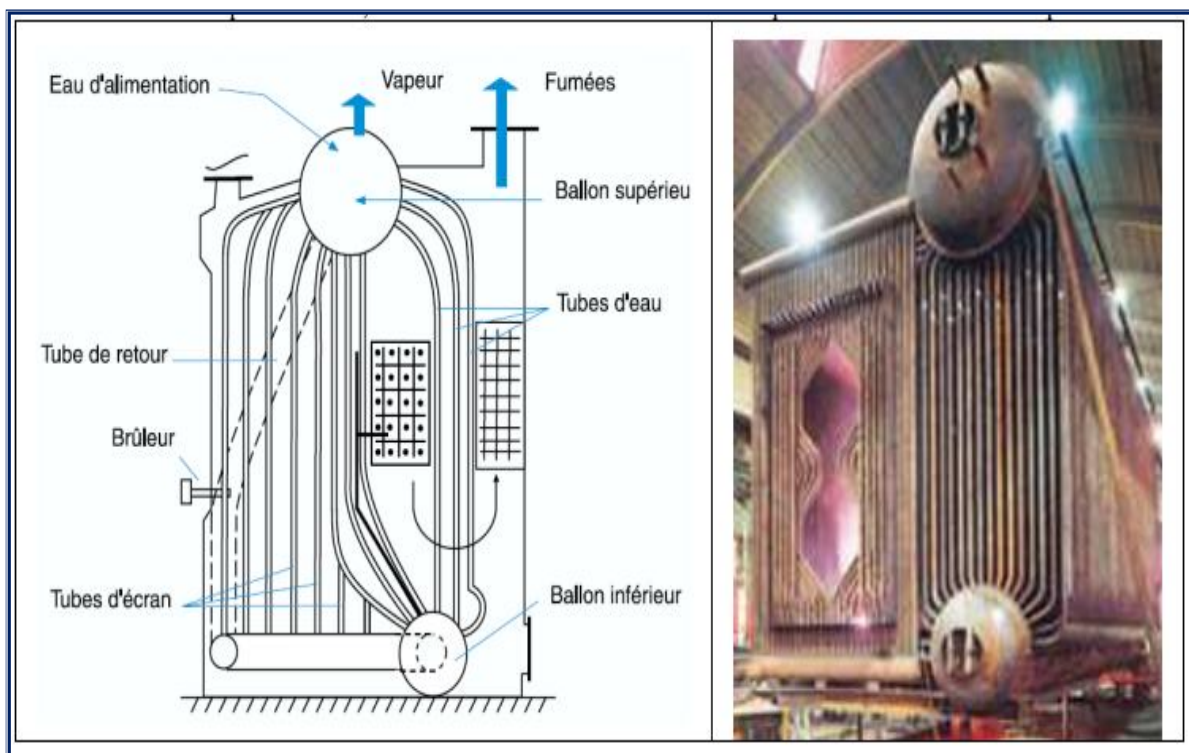


Figure II.10 : Une chaudière à tubes d'eau.

Dans une chaudière à tubes d'eau, la tuyauterie qui prend en charge la vapeur saturée retourne dans le foyer, les gaz chauds apportent à cette vapeur saturée une énergie supplémentaire qui en élève la température sans en modifier la pression. On obtient ainsi de la vapeur surchauffée à la sortie. [6]

## II. 8- Comparaison des performances :

**Tableau II.1 :** Comparaison des performances entre chaudières à tubes de fumées et à tubes d'eaux. (NALCO, 1983)

Propriétés	Chaudière à tubes de fumée	Chaudière à tubes d'eau
Mise en route (à puissance équivalente)	Lente (grand volume d'eau à chauffer)	Rapide
Adaptation aux changements de régime	Médiocre (inertie importante)	Bonne
Surface de chauffe	Moyenne	Elevée
Sécurité	Médiocre	Bonne
Encombrement	Faible	Fort
Prix	Limité	Elevé
Applications usuelles ❖ Puissance ❖ Débit ❖ Timbre (pression max d'utilisation)	❖ Moyennement élevée ❖ 1.5 à 2.5 t/h ❖ 10 à 20 bar	❖ Importante ❖ 4 à 200 t/h ❖ 90 à 100 bar (en circulation naturelle) et jusqu'à 225 bar (circulation forcée)



## II. 9- Les problèmes techniques d'une chaudière à tube de fumé :

L'eau de chaudière provient de la station de traitement, de la bache de récupération des condensats est réalisé grâce à une pompe alimentaire fonctionnant à une pression déterminée. L'extraction et la purge continue sont deux opérations contribuant à maintenir la qualité de l'eau dans la chaudière pour le bon fonctionnement.

L'eau d'alimentation contient des traces de produits de traitement, de sels minéraux et d'impuretés diverses ; les résidus se déposent au fond du ballon sous forme de boues et doivent être évacués à l'aide d'un robinet d'extraction. Ce robinet spécial, dont la manœuvre doit être :

- De courte durée (afin d'éviter d'entraîner trop d'eau avec les boues).
- Répétée plusieurs fois par jour.

Généralement, les problèmes connus pour la chaudière à tube de fumées sont les suivants :

L'entartrage, l'encrassement et la corrosion.

Ces phénomènes sont liés à la composition et à l'utilisation de l'eau. Elle doit donc subir le traitement adéquat avant son introduction en chaudière. [6]

### II. 9.1. Caractéristiques de l'eau et leur impact sur la chaudière:

L'eau brute contient :

- Des minéraux dissous : cations, anions ;
- Des gaz : O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>;
- Des matières en suspension (MES), qui pour le cas de l'eau de réseau eau de ville, sont en quantité normalement négligeable. On veillera tout de même à réaliser une filtration afin d'éviter de voir leur teneur en chaudière augmenter dans une trop forte proportion.

Les minéraux dissous auront pour conséquence :

- D'augmenter la viscosité de l'eau donc de diminuer les possibilités d'échange thermique et de déplacement des bulles de vapeur amenant le phénomène de primage,
- La création de dépôts au contact des parois chaudes.

Les gaz interviendront quant à eux :

- Pour l'ensemble des gaz : de part leur pression partielle (action sur la température), de part le volume qu'ils peuvent occuper (diminution des coefficients d'échange thermique).
- Pour l'oxygène de part son pouvoir oxydant. [9]

Le cas du dioxyde de carbone est particulier car il se trouve en présence importante en chaudière du fait de la dissociation des carbonates : il a pour conséquence une acidification des condensats. [9]

## II. 9.2. Impact de la qualité d'eau :

L'eau de chaudière peut de plus, contenir des polluants provenant des retours de condensats.

Dans ce cas un retraitement doit être envisagé pour permettre de les dépolluer. Trois pathologies sont donc à craindre : primage, incrustations et corrosion.

### a) **Primage :**

Le troisième problème important, qui concerne le fonctionnement d'une chaudière, est l'entraînement de l'eau de chaudière dans la phase vapeur (primage). Cela peut être dû à un effet mécanique, c'est ce qui se passe lorsque l'eau de chaudière est vaporisée au niveau d'une chicane cassée ; cela peut être dû à la volatilité de certains sels de l'eau de chaudière, comme la silice ou les sels de sodium ; cela peut provenir également d'une formation de mousse.

Le primage peut avoir pour origine :

- ❖ Une mauvaise conception de la chaudière.
- ❖ Une viscosité de l'eau trop élevée.
- ❖ La présence de MES.
- ❖ La présence de produits tensioactifs qui en abaissant la tension superficielle augmente le "moussage".

### b) **Incrustations :**

Les dépôts peuvent provenir :

- De la précipitation de sels minéraux qui se trouveront en grande concentration, et à une température élevée qui entraîne une baisse de la solubilité des carbonates alcalino-terreux.

- Des produits de la corrosion.

Les dépôts les plus dangereux pour la bonne marche de la chaudière seront les tartres adhérents aux surfaces d'échange :

- Ils diminuent les sections de passage pour les chaudières à lames ou tubes d'eau et amène une diminution de l'irrigation des surfaces d'échange.
- Ils augmentent la résistance thermique des surfaces d'échange et provoquent des surchauffes qui diminuent la résistance mécanique des aciers et peuvent provoquer des coups de feu.
- Ils sont générateurs de corrosion en devenant zones anodiques d'une corrosion par l'oxygène dissous.

Les boues non adhérentes se déposent en fond de chaudière pour les plus denses ou restent en suspension et peuvent être entraînées avec la vapeur et ainsi la polluer. [4]



**Figure II.11** : Photo des dépôts (tartre) sur un tube de fumée



**Figure II.12** : Photo pour un exemple typique d'une rupture d'un tube causée par une surchauffe.

### c) Corrosions :

Les surfaces d'échange des chaudières côté fumées et côté eau subissent des corrosions. La corrosion a plusieurs origines que nous pouvons regrouper en deux catégories :

#### ❖ *Erosion mécanique :*

L'accélération du fluide au niveau des parois des faisceaux tubulaires favorise l'action érosive due au sable fin, aux oxydes métalliques en suspension dans l'eau ; ce qui montre la nécessité d'un dispositif de filtration de l'eau pour l'alimentation des chaudières.

#### ❖ *Corrosion chimique :*

Les corrosions ont pour origine :

- La présence d'oxygène dissous. La corrosion par l'oxygène est accélérée par la présence de dépôts qui créent des zones anodiques.
- Un pH trop faible qui autorise une corrosion acide.
- Une minéralisation trop élevée.
- La présence de dioxyde de carbone dans la vapeur peut amener une corrosion prématurée des réseaux par sa dissolution dans les condensats. En effet le pH des condensats chute rapidement avec des concentrations en dioxyde de carbone croissantes. [4]



**Figure II.13 :** Photo de corrosion du foyer dans une chaudière

### II. 9.3. Les normes d'exploitation pour éviter les problèmes techniques de chaudière :

Le traitement des eaux de chaudière a pour objectifs d'assurer un rendement maximum à l'installation tout en prolongeant sa durée de vie. Le traitement approprié de l'eau d'alimentation de chaudière est donc une partie importante de l'opération et du maintien du système. Afin de protéger la chaudière contre les 3 problèmes cités précédemment, ils doivent être respectés les normes de service, grâce à des traitements spécifiques sur l'eau d'alimentation.

Il faut noter que pour les chaudières fonctionnant à basse pression (10 – 20 bar), les normes citées dans les tableaux suivants doivent être respectées. [10]:

**Tableau II.2 :** Les normes d'eau d'alimentation des chaudières ; [10]

EAU D'ALIMENTATION CHAUDIÈRES (APPOINT)		
pH à 25°C		>9
TA (valeur p)	mmol/l	> 0.1
TAC (valeur m)	mmol/l	/
TH (dureté totale)	°F	< 0.09
Conductivité à 25°C	mg/l	<500
Oxygène (O <sub>2</sub> )	mg/l	<0.02
Fer (Fe)	mg/l	< 0.05
Phosphate trisodique (Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	mg/l	9 – 35
Bisulfite de sodium (Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> )	mg/l	10 – 30
Phosphate (PO <sub>4</sub> )	mg/l	5 – 20
Sulfate (SO <sub>4</sub> )	mg/l	14 – 40

**Tableau II.3** : Les normes d'eau de chaudière ; [10]

<b>EAU DE CHAUDIÈRES</b>		
<b>pH à 25°C</b>		10 – 12
<b>TA (valeur p)</b>	mmol/l	1 – 12
<b>TAC (valeur m)</b>	mmol/l	/
<b>TH (dureté totale)</b>	°F	< 0.09
<b>Conductivité à 25°C</b>	mg/l	30 – 8000
<b>Oxygène (O<sub>2</sub>)</b>	mg/l	<0.02
<b>Fer (Fe)</b>	mg/l	< 0.05
<b>Phosphate trisodique (Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)</b>	mg/l	9 – 35
<b>Bisulfite de sodium (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>)</b>	mg/l	10 – 30
<b>Phosphate (PO<sub>4</sub>)</b>	mg/l	5 – 20
<b>Sulfate (SO<sub>4</sub>)</b>	mg/l	14 – 40

Pour arriver aux normes citées dans les deux tableaux précédents, il faut réaliser des opérations technologiques sur l'eau brute et suivre des étapes techniques différentes concernant la conception du traitement des eaux. On distingue plusieurs procédés de filtration d'eau tels que : filtration à sable et charbon, la microfiltration, l'osmose inversé et la déminéralisation par l'échangeur d'ions ....etc. tous ce qui dépend au traitement des eaux pour l'exploitation industrielle, nous le présenterons dans le prochain chapitre.

# CHAPITRE 3

Les technologies du  
traitement des eaux pour  
les exigences industrielles

---

### III. 1- Introduction :

L'eau est grandement utilisée dans l'industrie, qu'il s'agisse d'eau naturelle, d'eau de procédé ou d'eau potable. Très souvent l'eau brute doit être traitée avant d'entrer dans l'usine pour assurer que sa qualité et ses propriétés correspondront aux spécifications requises par le processus industriel.

Un traitement approprié pour l'eau brute qui alimente la chaudière est une partie importante du fonctionnement et de l'entretien d'une chaudière. Comme de la vapeur est produite, les solides dissous deviennent concentrés et forment un dépôt à l'intérieur de la chaudière. Ceci mène à de mauvais transferts de chaleur et réduit l'efficacité de la chaudière. [10]

L'eau brute utilisée par des usines pour ses besoins contient un niveau important des solides dissous comme du Chlorure, de la Silice, du Potassium, du Sodium, du fer ...etc., qui peuvent atteindre la saturation et une précipitation conséquente et du dépôt peuvent apparaître, ce qui signifie la diminution dans la performance de la chaudière et sa durée de vie.

### III. 2- Nature d'une eau brute et leur d'origine :

On appelle eau brute, l'eau non traitée, prélevée dans la nature et destinée aux besoins d'une usine pour:

- Sa production de vapeur.
- Son procédé de fabrication.
- La production d'une eau potable.

L'eau brute provient de sources variées telles que :

- ✓ Une rivière.
- ✓ Un lac.
- ✓ une nappe phréatique.
- ✓ la mer.

On peut classer la source d'eau brute en deux catégories globales : les eaux souterraines – les eaux de surface. [11]



### III. 2.1. Les eaux souterraines :

Elles proviennent de la gravitation des eaux de pluies à travers le sol, jusqu'aux couches imperméables ou elles s'accumulent en nappes plus-ou-moins important et profondes. Théoriquement, les eaux souterraines sont protégées par la capacité filtrante du sol qui sépare de la surface et de ses sources de pollution.

Les eaux de ce type sont largement exploitées et sont souvent de qualité suffisante pour être distribuées en l'état sans traitement. Les nappes moins profondes on situées dans les zones agricole ou industrielles sont beaucoup plus vulnérables a la contamination, notamment par les pesticides et les engrais et autre substances solubles, répandues sur les sols et drainées plus aisément en profondeur par les eaux de ruissellement. [12]

### III. 2.2. Les eaux de surface :

Elles sont mobilisées dans les rivières, les barrages, et les lacs sont les plus exposées aux pollutions, principalement liées aux activités humaines telles les rejets domestique et industriels et les activités agricoles. Leur qualité souvent médiocre nécessite des traitements plus coûteux.

Les eaux de surface sont beaucoup plus sensibles aux variations de leur environnement climatique, leur contenus en éléments nutritifs et en gaz dissous. [12]

L'eau brute quelque soit leur source d'origine contient souvent des impuretés qui peuvent: corroder, encrasser ou simplement polluer. Le degré de traitement dépend de l'usage final qui en est fait.

Les impuretés les plus dangereux qui provoquent la majorité des problèmes techniques ce qui concerne la production ou les machines sont:

- Les acides.
- Les bicarbonates
- Le dioxyde de carbone
- Les chlorures.
- L'oxygène.
- Les composants à base de : Calcium, Magnésium, la Silice, Fer et Manganèse.

Pour assurer la qualité d'eau désirée par les constructeurs des machines, les technologues ont développés différents procédés de traitement des eaux pour objectif d'éliminer ou réduire les concentrations excessifs des impuretés citées au dessus.

### III. 3- Les technologies de Traitement de l'eau brute :

Toutes les entreprises ayant besoin d'eau de qualité pour leur process, en cherchant à exploiter des technologies fiables et moins coûteuses pour le traitement d'eau d'alimentation. Parmi les techniques les plus utilisées dans ce sens, on a : la filtration classique, la microfiltration, les procédés séparatifs membranaires et les procédés par échange d'ions.

#### III. 3.1. La filtration à travers un milieu poreux (classique):

La filtration est un procédé utilisant le passage d'un mélange solide-liquide à travers un milieu poreux (filtre) qui retient les solides et laisse passer les liquides (filtrat). La filtration par média filtrant est très efficace pour résoudre de nombreux problèmes comme: le chlore, le fer, les particules en suspension... Les médias filtrants les plus utilisés sont le sable et le charbon actif.

##### a) Filtre à sable :

L'opération de filtration est réalisée sur filtre fermé, permettant d'obtenir une rétention des Matières En Suspension (MES) dans l'ensemble de la masse filtrante. Le filtre est constitué d'une couche de sable unique et homogène sur toute la hauteur.

Le sable est le moyen le plus simple de filtrer une eau puisqu'il s'agit d'un élément naturel, disponible en grandes quantités et totalement inoffensif pour l'environnement. Il suffit de choisir un sable plus ou moins fin pour obtenir une filtration plus ou moins fine sans avoir à aménager plusieurs étages de filtration.

La hauteur de la couche est adaptée à la vitesse de filtration et à l'importance de la charge en MES. Le filtre sur sable doit être dimensionné en fonction des polluants à traiter et du débit de l'eau.

Le lavage périodique du filtre s'effectue à contre courant après fermeture du circuit d'évacuation des eaux filtrées. Pendant la période de lavage, le circuit d'eau filtrée est isolé. [13]



Figure III.1 : Photo d'un Filtre à sable

#### b) Filtre à charbon actif :

Le charbon est employé comme filtre depuis l'antiquité sous la forme de noir de filtration obtenu à partir de bois. Depuis, on a fait des progrès : le charbon issu de la pyrolyse de divers végétaux (bois, coques et noyaux de fruits...) est rendu actif par un procédé d'élimination des goudrons qu'il contient (les goudrons sont ce qui brûle dans le charbon employé en chauffage ou en barbecue).

La filtration sur charbon actif consiste à biodégrader et oxyder les matières organiques ainsi qu'éliminer ou absorber certains micropolluants pour améliorer le goût, l'odeur et la couleur de l'eau. Le phénomène physique est l'adsorption, c'est à dire l'adhésion des matières à filtrer sur la surface d'un solide sans réaction chimique. Le charbon actif est une forme de charbon présentant une surface spécifique très importante, ce qui permet de retenir les bactéries et participer à l'élimination de la matière organique et de l'ammoniac. [13]

Il est important que le liquide à traiter ne contienne (presque) plus de particules en suspension, sous risque de rapidement obstruer le filtre et de fortement réduire sa capacité d'absorption. C'est pour cette raison, on constate le positionnement de filtre à sable existe souvent avant le filtre à charbon actif même dans le cas d'un système de filtration à deux matières (sable – charbon). [13]



**Figure III.2 :** Photo d'un Filtre à charbon actif (TIFIB)

### **III. 3.2. La microfiltration :**

La microfiltration est une technologie très efficace pour séparer les solides et récupérer des produits dans toutes sortes de liquides. La microfiltration présente un seuil de rétention plus faible qu'un filtre traditionnel ; les pores des cartouches utilisées pour la microfiltration mesurent entre 0.1 et 10  $\mu\text{m}$ . La porosité de ces filtres étant très faible, ils présentent l'avantage supplémentaire de retenir les bactéries et les virus. Même si les virus sont plus petits que les pores de la membrane de microfiltration, leur rétention s'avère possible car ils se fixent aux bactéries. [14]

La microfiltration peut s'appliquer à de nombreux types de traitement des eaux. Cette technique se fait pratiquement toujours avec des filtres à cartouches consommables presque dans toutes les applications industrielles comme :

- Prétraitement de l'eau par osmose inverse.
- Prétraitement pour la stérilisation par ultraviolets.
- Séparation des émulsions d'eau et d'huile.
- Stérilisation à froid des boissons et produits pharmaceutiques.
- Clarification des jus de fruits.
- Traitement des effluents.
- Séparation solide-liquide pour les industries pharmaceutique et alimentaire. [14]



**Figure III.3 :** Photo d'un Filtre à 2 matières (Sable – Charbon actif) TIFIB

Dans le cadre de traitement de l'eau potable, la microfiltration sert principalement de prétraitement à un processus plus fin, par exemple, l'osmose inverse. Elle peut également être utilisée pour la potabilisation des eaux de surface.

La microfiltration a plusieurs avantages tel que :

- Processus efficace.
- Niveau de filtration faible.
- Élimination de la turbidité.
- Pas d'entretien (à part les cartouches). [14]



**Figure III.4 :** Une cartouche de microfiltration



**Figure III.5 :** Une cartouche à fil bobiné



**Figure III.6 :** Une cartouche en propylène

Dans ce type de filtration par cartouches poreuses, celles-ci doivent être installées dans un châssis. Le porte-cartouches se divise en deux parties, reliées entre elles par les cartouches filtrantes : la zone de l'eau avant filtration et la zone de l'eau filtrée. L'étanchéité des extrémités des cartouches est assurée par des joints spéciaux.



**Figure III.7 :** Châssis des cartouches (TIFIB)

### III. 3.3. Les procédés séparatifs membranaires:

Les procédés membranaires, ou de filtration par membrane, aussi appelé filtration tangentielle différente de la filtration classique essentiellement par la présence d'une sortie concentrât: seulement une partie de l'eau passe à travers le média filtrant, une partie appelée le concentrât, ne passe pas à travers le média filtrant et sert à évacuer les impuretés qui, en filtration classique, restent sur le milieu filtrant. [13]

Les procédés à membranes sont utilisés pour séparer et surtout concentrer des molécules ou des espèces ioniques en solution et/ou pour séparer des particules ou des microorganismes en suspensions dans un liquide. [15]

#### ➤ **Présentation des techniques :**

Les membranes sont des barrières filtrantes semi-perméables à fines pellicules. On utilise, en traitement de l'eau, des membranes synthétiques pour éliminer différents solutés et particules de tailles différentes. Les membranes exploitées dans les techniques de séparation (Ultrafiltration, Nanofiltration et l'osmose inverse) peuvent être minérales ou organiques, planes, spiralées ou tubulaires. Le mode d'utilisation et le type de membrane dépendent du fluide à traiter et des objectifs à atteindre. [16]

Dans le traitement des eaux, on distingue trois procédés par membranes qui sont utilisés :

- Ultrafiltration.
- Nanofiltration.
- L'osmose inverse.

#### **A. Ultrafiltration :**

L'ultrafiltration est un procédé de séparation soluté / solvant. Il s'agit une technique membranaire de séparation. Le principe de séparation est une différence de pression de part et d'autre de la membrane. Les tailles des molécules retenues par l'ultrafiltration vont de  $0,002\mu\text{m}$  à  $0,1\mu\text{m}$  selon la membrane choisie. La filtration est généralement de type tangentielle, c'est à dire que le fluide circule parallèlement à la membrane, contrairement à la filtration classique qui est dite frontale. La filtration tangentielle permet de limiter l'accumulation de dépôts qui obturent la surface de filtration. [15] :

## B. Nanofiltration :

La Nanofiltration (NF) est le terme utilisé pour désigner une nouvelle technique séparative à membranes se situant entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration.

Cette technique se base sur la séparation en phase liquide utilisant la filtration au travers de membranes semi-perméables sous l'action d'une pression. Elle permet la séparation de composants ayant une taille en solution voisine de celle du nanomètre. Les sels ionisés multivalents (calcium, magnésium, aluminium, sulfates...) et les composés organiques non ionisés de masse molaire supérieure à environ 300 g/mol sont fortement retenus.

Ce procédé fonctionne sur le principe de la filtration tangentielle avec un transfert de matière à travers la membrane dû à un gradient de pression pouvant varier de 10 à 40 bars. Il est surtout utilisé en potabilisation ou dans les chaînes de traitement des eaux résiduaires. [17]

## C. L'Osmose inverse :

### C- 1. Principe de l'osmose inverse :

#### C- 1.1 Pression osmotique:

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Si on considère un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes, l'osmose se traduit par un flux d'eau dirigée de la solution diluée vers la solution concentrée. [18]

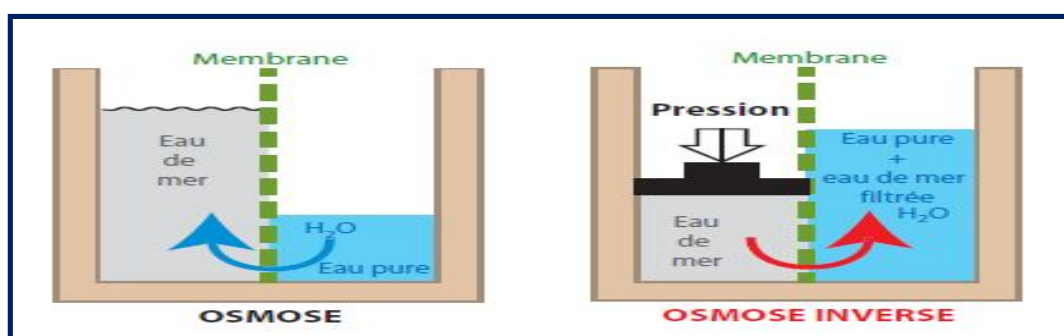


Figure III.8 : Principe de l'osmose inverse



La membrane est définie comme une barrière séparant deux compartiments et permettant le passage préférentiel d'au moins une espèce parmi les autres sous l'action d'une force de transfert chimique (concentration ...) ou physique (pression).

La membrane semi-perméable laissera passer le solvant (le soluté ne passe pas) pour équilibrer la concentration. La différence de concentration crée une pression, appelée Pression osmotique. Pour inverser le passage du solvant et augmenter la différence de concentration, il faut appliquer une pression supérieure à la pression osmotique, c'est le phénomène d'osmose inverse. [18]

### C-2. Les membranes :

#### **C-2.1 Constitution et assemblage en modules:**

Les membranes sont le plus souvent fabriquées en acétate de cellulose ou en polymères de synthèse (polyamides, polysulfones). Elles peuvent être planes ou tubulaires (épaisseur de l'ordre de 200  $\mu\text{m}$ ) ou en fibres creuses obtenues en filant des polymères (diamètre intérieur de 25 à 800  $\mu\text{m}$  et diamètre extérieur de 50 à 1000  $\mu\text{m}$ ).

Les membranes sont caractérisées par leurs qualités de stabilité chimique (pH, oxydants, dichlore ...), de stabilité thermique (important facteur pour les utilisations biologiques où il y a stérilisation en autoclave), de stabilité microbiologique (dégradation bactérienne pour les membranes en acétate de cellulose) et de résistance mécanique.

Pour être mises en œuvre les membranes doivent être montées dans des supports appelés modules. Une enceinte résistant à la pression est toujours nécessaire. On trouve trois types principaux:

- **Module spirale:** une membrane plane est enroulée autour d'un tube creux collecteur de permeat.
- **Module tubulaire:** une membrane tubulaire est fixée sur un support poreux.
- **Module à fibres creuses:** les fibres en U sont mises en faisceau et assemblées de façon à réaliser l'étanchéité aux deux extrémités du module. Le liquide à traiter circule perpendiculairement à l'axe des fibres tandis que le concentrât est recueilli dans une enceinte qui enveloppe le faisceau et permet son évacuation à une des extrémités du module. Le permeat s'écoule à l'intérieur de chacune des fibres puis dans un collecteur. [18]

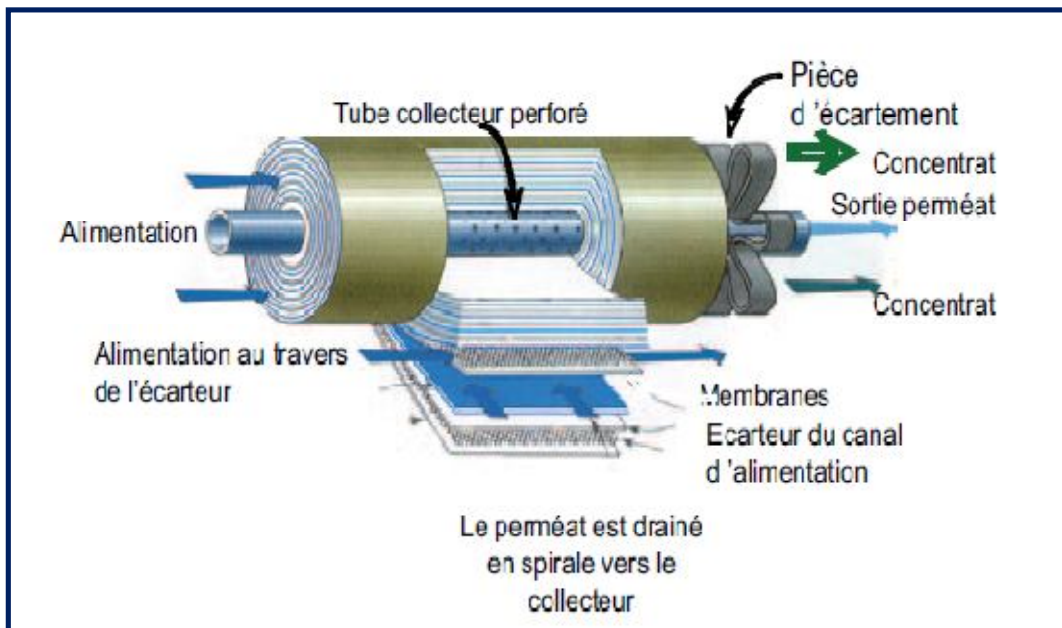


Figure III.9 : Module d'osmose inverse

### C-2.2 Polarisation et colmatage:

La polarisation, apparaissant en osmose inverse, est un phénomène réversible caractérisé par une accumulation à la surface de la membrane des espèces retenues. La concentration étant à la surface plus élevée que dans le volume de la solution il s'ensuit une augmentation de la pression osmotique près de la membrane et donc une diminution de la pression efficace, le flux de perméat va donc diminuer. Le colmatage est possible en osmose inverse. On peut atteindre la limite de solubilité des sels au niveau des membranes et avoir une formation de tartre lors de la déminéralisation d'eaux salines. [17]

### C-2.3 Choix des membranes :

Les membranes sont composées par des matières différentes suivant les besoins industrielles, les coûts d'investissements et la nature de fluide à traiter. Il existe différents types de membranes :

- Les membranes minérales (ou inorganique).
- Les membranes organiques.
- Les membranes composites. [17]

**Tableau III.1 :** Avantages et inconvénients des membranes organiques suivant leur composition (Doc. FNDAE No 14, 2002).

	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Acétate de cellulose</b>	Perméabilité élevée. Sélectivité élevée. Mise en œuvre assez aisée Adsorption des protéines faible => Colmatage moindre.	Sensible : A la température. Au pH. Au chlore. Aux microorganismes.
<b>Type polyamide</b>	Bonne stabilité chimique, thermique et mécanique.	Grande sensibilité au chlore Faible perméabilité Phénomènes d'adsorption
<b>Type polysulfone</b>	Bonne stabilité thermique et au pH. Résistance au chlore.	Adsorptions
<b>Matériaux acryliques</b>	Bonne stabilité thermique et chimique. Stockage à sec possible	Faible résistance mécanique Pores de diamètres assez élevés.
<b>Matériaux fluorés</b>	Bonne stabilité thermique et chimique.	Faible perméabilité Microfiltration uniquement
<b>Membranes composites</b>	Bonnes caractéristiques : perméabilité et sélectivité Stabilité au pH de 2 à 11 Bonne tenue en température	

**Tableau III.2 :** Comparaison des membranes organiques et minérales (CARDOT ; 2003)

<b>Propriétés</b>	<b>Membranes minérales</b>	<b>Membranes organiques</b>
<b>Résistance thermique</b>	> 100 °C.	< 100 °C.
<b>Résistance chimique</b>	pH de 0 à 14.	pH de 2 à 12.
<b>Résistance mécanique</b>	Bonne.	Moins bonne.
<b>Tolérance aux oxydants</b>	Oui.	Fonction du polymère.
<b>Compactage</b>	Insensibles.	Sensibles.
<b>Durée de vie</b>	10 ans.	5 ans.
<b>Coût</b>	Elevé.	Moyen.

### C-3. Système d'application l'osmose inverse :

Les unités d'osmose inverse comportent principalement en plus des modules les éléments suivants:

- Une pompe à haute pression (20 à 80 bars) pour l'osmose inverse.
- Réservoir de permeat pour l'alimentation des modules membranaires lors de l'arrêt de l'osmose inverse.
- Un filtre à cartouche pour éviter la détérioration provoquée dans la membrane par les particules de diamètre 0.1  $\mu\text{m}$  à 10 $\mu\text{m}$  tel que le fer.
- Système de dosage pour maintenir le pH dans un intervalle déterminé qui permet d'assurer la solubilité des sels dans la membrane et éviter le colmatage résultant par le dépôt des particules organiques, inorganiques et sulfates.
- Pré-filtration par le sable et charbon actif pour éliminer les matières en suspension et les microorganismes qui engendrent des problèmes sur les membranes à base de l'acétate de cellulose.

Le système d'osmose inverse existe en discontinu comme en continu avec dans les deux cas des montages permettant le recyclage des concentrats plusieurs fois pour améliorer la séparation. [18]



**Figure III.10 :** Photo des 3 Blocs d'osmose inverse (station de traitement des eaux, TIFIB 2013)

### III. 3.4. Les procédés par échange d'ions :

#### A. Définition et principe de fonctionnement :

Le terme échange d'ions regroupe un ensemble de technologie assez diverses, qui ont pour point commun de permet le transfert des ions indésirable de l'eau brute sur un support insoluble, appelé échangeur.

Les échangeurs d'ions sont des substances macro molécule granulaires insolubles comportant dans leur structure moléculaire des radicaux acides ou basiques susceptibles de permuter, sans modification apparente de leur aspect physique et sans altération ou solubilisation, les ions positif ou négatifs, fixes sur ces radicaux. Cette permutation s'appelé aussi **l'adoucissement**, elle permet de modifier la composition ionique du liquide objet du traitement, sans modification ou nombre totale de chargés existant dans ce liquide avant l'échange.

L'échangeur d'ions possède une capacité limitée de stockage sont support dénommée capacité d'échange. Il est alors régénère avec une solution fortement concentrée dans le genre d'ions choisis, qui se substituent à l'accumulation d'ions indésirable en redonnant au matériau d'échange ses possibilité d'utilisation. Les échangeurs possédant des radicaux chargés négativement (-) sont appelés échangeurs de cations puisqu'ils peuvent capter les ions (+). Les échangeurs d'ions possèdent des radicaux à charges (+) et par conséquent fixent les anions. [4]

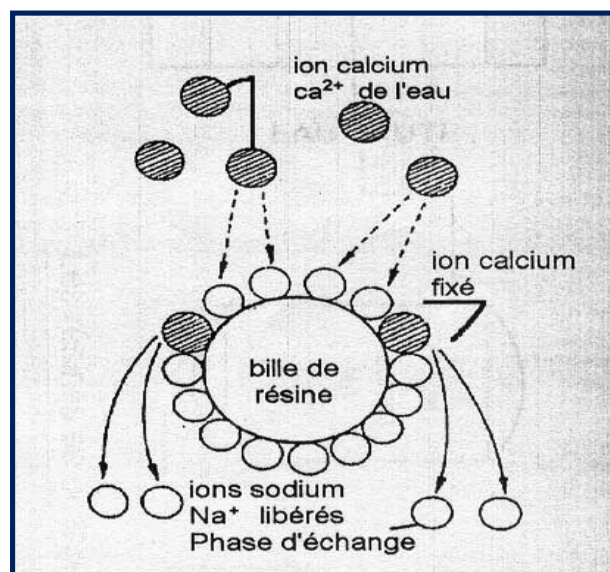


Figure III.11 : Echange d'ions entre (calcium – sodium) par la résine sodique

L'équipement responsable de réaliser cette opération s'appelle l'adoucisseur, il est dimensionné en fonction de la dureté de l'eau et de son débit. Plus la dureté est importante, plus le volume de résines sera important pour adoucir un certain volume d'eau. Il est important que l'eau à adoucir ne contienne pas de particules en suspension. Ces particules en suspension peuvent bloquer l'adoucisseur et empêcher les résines de fonctionner correctement. [18]



**Figure III.12 :** Photo deux Adoucisseurs industrielles de type cationique (TIFIB)

### **B. Les types des adoucisseurs :**

Plusieurs types d'adoucisseurs sont à distinguer selon le type d'ions qui ils sont en mesure de retenir :

***b-1. Adoucisseur cationique :*** Possédant une charge (-) pour capter les ions (+).

- Il est caractérisé par les radicaux sulfoniques  $\text{HSO}^{-3}$  dans le cas des résines fortement acide. elle fixe tous les cations dans une large gamme de pH (1 à 13).
- Les résines polyacryliques caractérisées par la présence des radicaux carboxylique ( $\text{HCO}^{-2}$ ) dans le cas d'échange faiblement acide. Elle ne fixe les cations que dans un milieu alcalin ou faible acide  $\text{pH} > 3$ .

***b-2. Adoucisseur anionique :*** Possédant une charge (+) pour capter les ions (-). Il peut se classer en 2 groupes :

- Résine fortement basique : elle fixe tous les anions dans une plage de pH (1 à 12).
- Résine faiblement basique : elle ne peut fixer que les acides minéraux forts ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,...). [13]

### C. Durée de vie des résines:

La durée de vie d'une résine est limitée dans le temps, on peut estimer que la perte de masse de la résine est à environ de 3 % par des centaines de cycles de régénérations. Pratiquement, si elles ne subissent pas de dommages, les résines sont à changer en principe toutes les 1000 régénérations.

On a des facteurs influencent la durée de vie de la résine qui sont :

- ✓ Précipitation de sulfate de calcium en cas de forte concentration dans la solution à traitée.
- ✓ Excès de fer ou d'aluminium dans la solution à traitée.
- ✓ Fragmentation des billes sous l'action de turbulence excessive en opération. [13]

### D. Système de régénération de l'adoucisseur : (le cas d'échange d'ions cationiques)

Les résines ont cette particularité d'échanger dans les deux sens ; le système est réversible si les résines sont mises en présence d'une solution très riche en sodium (**SAUMURE**), elles vont échanger dans le sens inverse et donc se retrouver à nouveau chargée en ions sodium pour effectuer un nouveau cycle d'adoucissement. La **saumure** est une solution sursaturée en Chlorure de Sodium. [13]

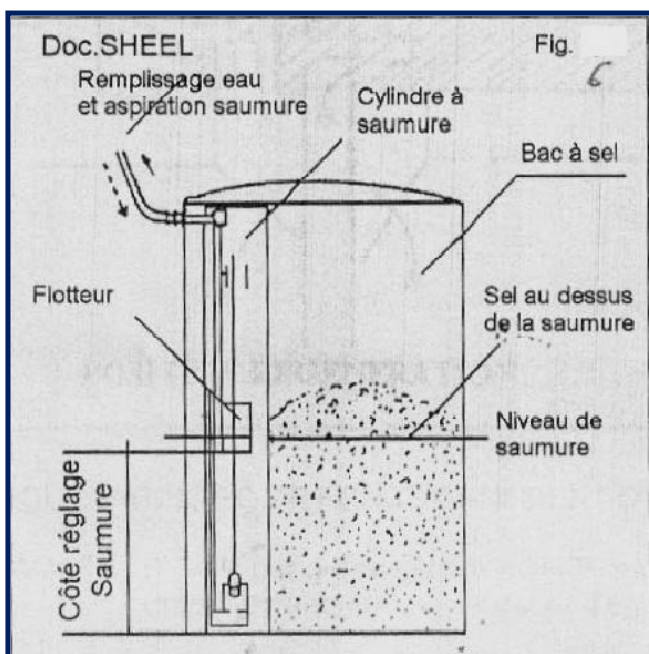


Figure III.13 : Bac de SAUMURE

# Partie 2

## L'approche pratique

**TRAITEMENT DE LA PROBLEMATIQUE**

**CHAPITRE 4**

**CHAPITRE 5**



# CHAPITRE

## 4

L'impact des différentes  
qualités d'eau sur la  
chaudière de vapeur

---

#### IV. 1- Description de la station du traitement des eaux (TIFIB) :

La station de traitement des eaux s'appartient aux annexes de la direction de maintenance. Son rôle est traiter l'eau brute qui alimente l'usine TIFIB grâce à un forage réalisé à Ain Ben Naoui. Ce traitement a pour but de produire différentes qualités d'eau (eau potable, eau douce et eau adoucie) qui servira les machines de lavage, les chaudières à tubes de fumés et les travailleurs aussi.

La station de traitement des eaux comprend pour son objectif plusieurs procédés de filtration, elle assure la production des différentes qualités d'eau par les moyens suivants :

- 1- Quatre filtres à un seul lit (2 filtres à sable – 2 filtres à charbon) pour l'épuration des eaux usées.
- 2- Trois filtres à 2 matières (sable et charbon) pour le dessalement de l'eau brute : pour but d'augmenter le taux de filtration. Dans ce type de filtre, la masse filtrante est composée de deux étages :
  - Le 1<sup>er</sup> étage contient le sable : leur objectif est d'éliminer les grosses particules et les MES de taille allant de 1-2 mm à 300 micron.
  - Le 2<sup>ème</sup> étage constitué le charbon actif : est un bon adsorbant de l'odeur, de la couleur et il adsorbe le chlore et de nombreux autres composés organiques, pesticides, etc. [25]



**Figure IV.1** : 4 filtres à un seul lit et 3 filtres à 2 matières

- 3- Trois filtres à fins (cartouches ou à bougies) : ils ont exploités pour la filtration à 5 micron, toutes les particules qui dépassent 5 micron sont retenues pour éviter le colmatage des modules d'osmose. [25]



**Figure IV.2** : Filtre à cartouches relié avec un bloc d'osmose inversée (TIFIB)

- 4- Trois blocs d'osmose inversée (chaque bloc contient 40 modules d'osmose) : ils ont assurés la filtration à 0.05 micron et réduire la conductivité de l'eau à partir de 7500 à 8000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  jusqu'au 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (au démarrage de l'usine à 1982). L'eau traitée (douce) est ensuite stockée dans un bassin B28 de 1800  $\text{m}^3$  avant d'être mise en distribution vers : les lignes de lavage (finissage humide), bassin B26 de 200  $\text{m}^3$  d'eau potable (mélange d'eau douce avec une quantité de l'eau brute bien déterminée), l'échangeur cationique pour produire l'eau adoucie qui alimente les chaudières de vapeur. [25]



**Figure IV.3** : Les trois blocs d'osmose inversée (TIFIB)

- 5- Deux échangeurs cationiques : pour but de traiter l'eau douce par l'élimination des sels alcalino-terreux en particuliers calcium et magnésium.



**Figure IV.4 :** Les deux échangeurs d'ions cationiques (TIFIB)

- 6- Dégazeur : pour dégager le gaz résulte par le dosage effectué au niveau de bloc d'osmose inversé par l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) et l'hexa-méta-phosphate de sodium  $(NaPO_3)_6$ .



**Figure IV.5 :** Dégazeur (TIFIB)

- 7- Bac de préparation de solution saumure pour la régénération des résines cationique de l'échangeur d'ions.



**Figure IV.6 :** Bac de solution de régénération

- 8- Réservoir de stockage une partie de permeat : pour protéger les modules d'osmose inversée contre le phénomène de dessèchement.
- 9- Salle de dosage : elle contient des bacs de préparation pour les solutions de dosage, les pompes de dosage et une douche de sécurité en cas de contact indésirable avec les produits chimiques.
- 10- Salle de commande : pour contrôler automatiquement le déroulement de chaque procédé par des sondes de détection reliées avec tous les moyens de filtration.
- 11- Les bassins de stockage : B23, B26 et B28 qui sont situés au dessous de la station de traitement des eaux (sous sol).
- 12- Laboratoire physico – chimique pour faire les analyses nécessaires durant le traitement réalisé au niveau de la station dans le but principale est détecter les anomalies apparentes qui provoquent des perturbations sur la production des différentes qualités d'eau suivant les normes désirées, et contrôler le comportement de la chaudière de vapeur avec l'eau d'alimentation pour augmenter le degré de protection et réduire les pourcentages de risque.



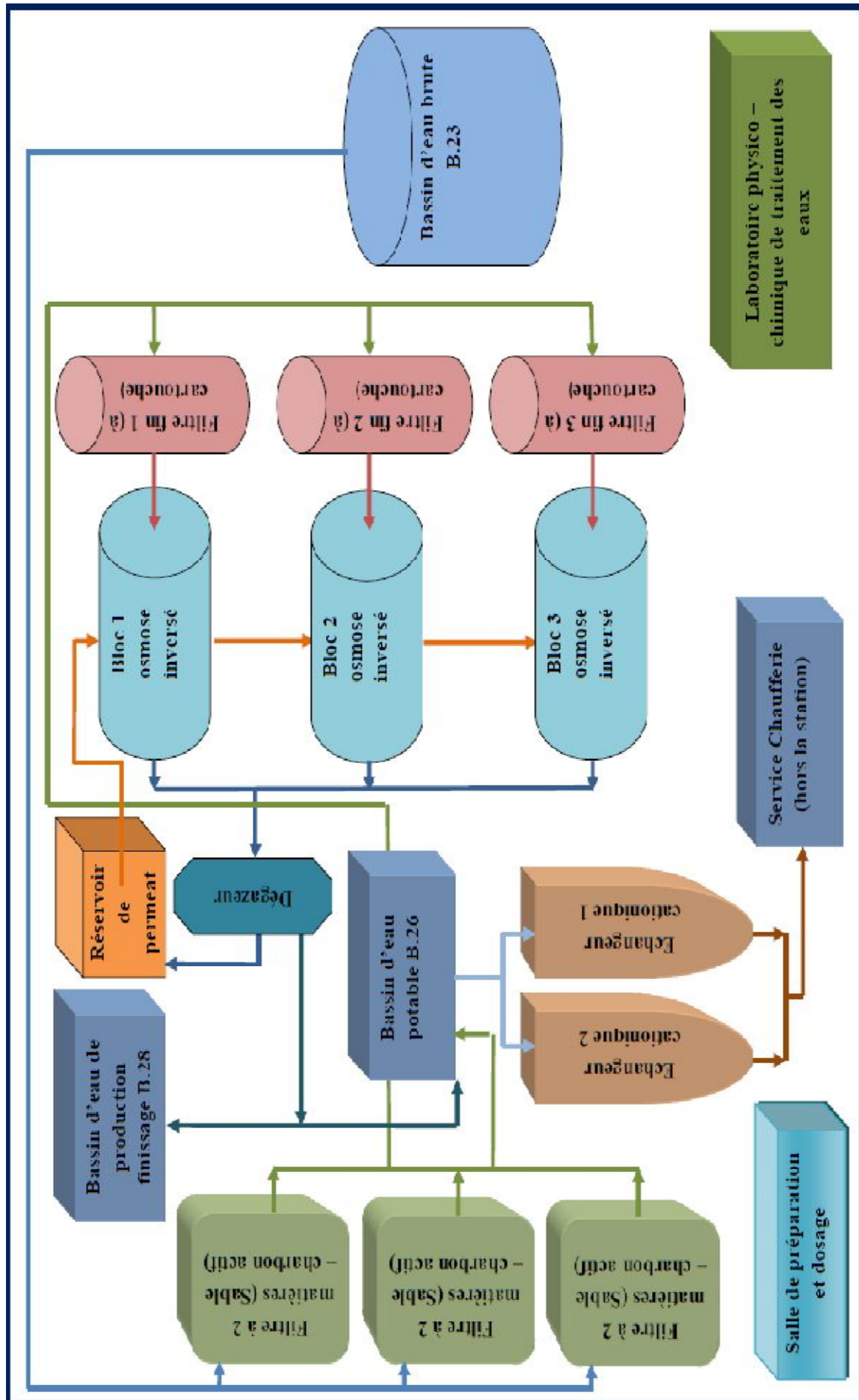


Figure IV.7 : Schéma représentative de la station du traitement des eaux (TIFIB)



## IV. 2- Description de la chaufferie (TIFIB) :

L'atelier de la chaufferie s'appartient aux annexes de la direction de maintenance. Son rôle est la production du vapeur qui alimente toutes les machines de lavage et les équipements de séchage existés au sein de la direction de finissage humide – sec.

Le travail dans ce lieu requiert la rigueur et la discipline du personnel qui s'occupe des tâches exécutives pour éviter les risques provoqués durant l'exploitation de la chaudière à tubes de fumés. La main d'œuvre doit être bien encadrée et maîtriser tous ce qui concerne les équipements de la chaufferie.

Cet atelier comprend pour son objectif plusieurs composantes :

- 1- Deux bâches de stockage pour l'eau d'alimentation (eau adoucie), le volume de chaque réservoir est de 25 m<sup>3</sup>. Ces 2 bâches sont équipées par un dégazeur thermique (il est hors service par mauvais entretien), elles sont reliées avec une pompe doseuse pour les produits chimiques.
- 2- L'eau stockée par ces 2 bâches est distribuée vers l'un des 4 chaudières utilisée pour la production de vapeur. La pression du travail pour toutes les chaudières est de (P=18 bar), le volume d'eau occupé est 80% de volume totale de la chaudière.
- 3- Bâche de stockage pour le retour du condensat qui revient après l'utilisation de la vapeur par les machines à travers le circuit fermé de distribution de vapeur, leur volume est de 5 m<sup>3</sup>. La température du condensat est environ de 80 °C, son retour à pour but de réchauffer l'eau d'alimentation avant le consommer par la chaudière pour éviter les chocs thermiques entre l'eau arrivant de l'une des 2 bâches avec le foyer très chaud de la chaudière.
- 4- Bac de dosage des produits chimiques utilisés pour protéger la chaudière et la bâche.
- 5- Installation de distribution pour l'huile utilisée dans différentes machines.
- 6- Réservoir de stockage de l'huile.



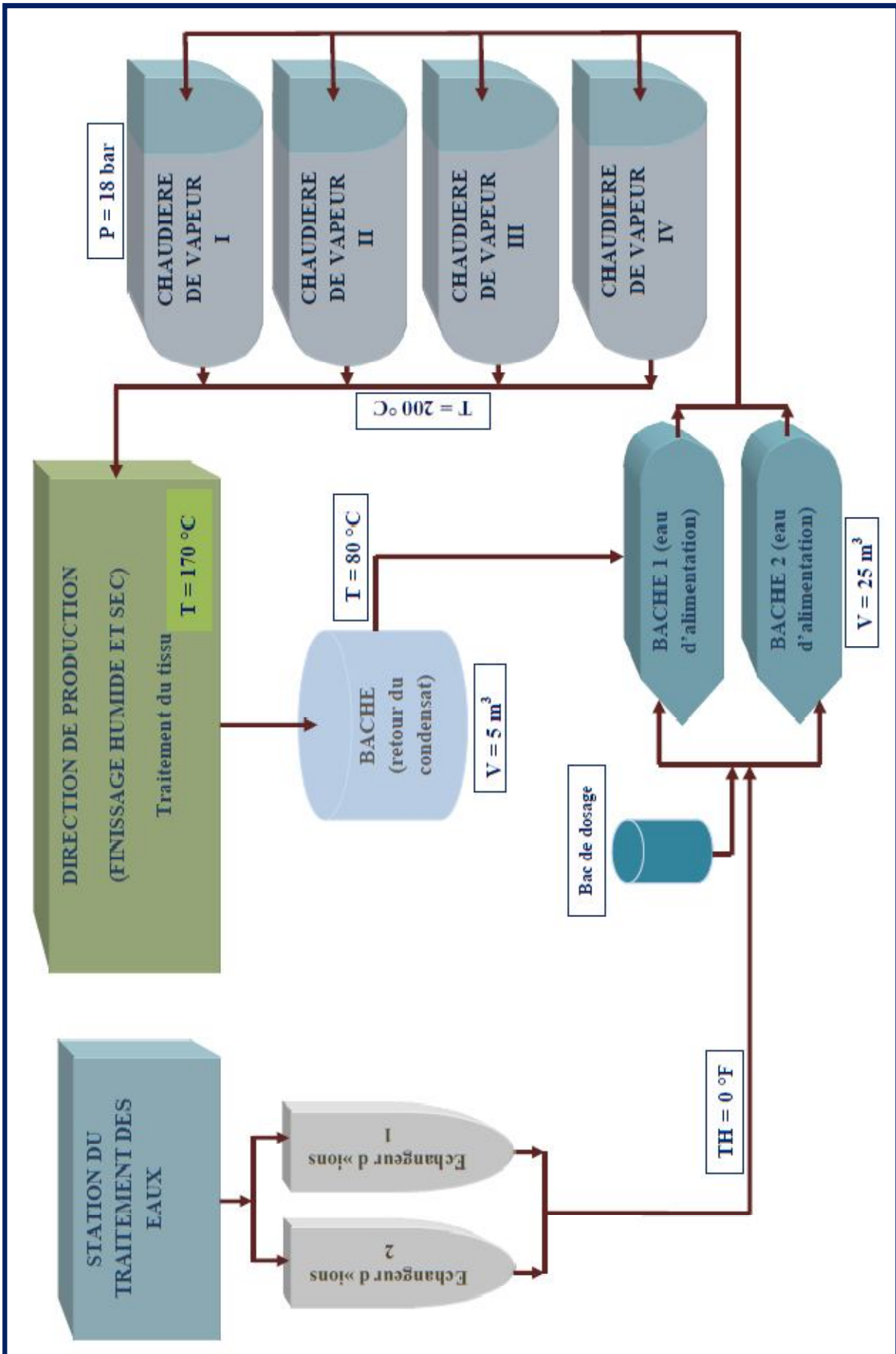


Figure IV.8 : Schéma représentative de la Chaufferie (TIFIB)





### IV. 3-L'importance du laboratoire pour le contrôle et la protection :

L'analyse physico-chimique de laboratoire est une activité essentielle à la caractérisation, la mesure de la pureté ou la qualité d'eau d'alimentation exploitée dans différents procédés pour la production désirée.

Le contrôle de qualité repose sur des protocoles ou modes opératoires analytiques exécutés sur des appareils souvent très complexes, chaque type d'appareil représentant une technique d'analyse permettant d'identifier une ou plusieurs paramètres physico-chimiques pour vérifier la conformité d'une eau traitée par rapport à des spécifications ou des exigences industrielles.

Le laboratoire vient en appui aux projets et aux activités industrielles pour la réalisation d'analyses physico-chimiques sur les différentes qualités des eaux utilisées. [20]

Ce type de laboratoire présente deux vocations essentielles :

- L'analyse des caractéristiques et propriétés d'eau d'alimentation lors des transformations réalisées sur la station du traitement des eaux.
- La surveillance du comportement d'équipements utilisés les différentes qualités d'eau exploitée.

### IV. 4-Le choix du protocole pour faire l'analyse sur un paramètre déterminé :

Les chimistes mettent en œuvre une ou plusieurs techniques pour faire en quelque sorte une conception physico-chimique précise sur la qualité d'eau pour mesurer son conformité aux normes du travail. En effet, les techniques d'analyses sont soumises à la normalisation internationale (ISO) pour but d'organiser et respecter les mêmes conditions et étapes pendant l'application de chaque analyse dans tous les laboratoires au monde. [21]

#### IV. 4.1. Définition de terme ISO :

L'ISO : c'est une organisation internationale de normalisation, elle est indépendante et le plus grand organisme non gouvernementale au monde. [26]



#### IV. 4.2. Définition de la normalisation :

Une norme est un document officiel réalisé par un organisme agréé. La normalisation est la rédaction de ces normes. Les établissements qui rédigent les normes sont appelés organisme de normalisation. Les plus connus sont :

- Afnor: L'association française de normalisation.
- CEN: Le Comité européen de normalisation.
- OASIS: Organization for the advancement of structured information standards.
- ISO: International organization for standardization.

D'après l'ISO, la norme doit impérativement :

- Lister les méthodes pour reproduire un produit ou un service.
- Etre reconnue par les professionnels du milieu concerné. [26]

#### IV. 4.3. Les différents types de normes ISO : [26]

Types de normes	Rôle des normes
Normes fondamentales	Réglementent les sigles, symboles et la terminologie.
Normes de spécifications	Renseignent sur les caractéristiques et les performances que l'on peut attendre d'un produit ou d'un service.
Normes d'analyses et d'essais	Renseignent sur les tests à effectuer avant la sortie d'un produit ou d'un service.
Normes d'organisation	Concernent le management de la qualité et le process qualité.

#### IV. 5- Les principaux paramètres physico – chimiques pour déterminer la qualité d'eau:

La qualité physico-chimique de l'eau informe sur l'évaluation d'un niveau de risque, en fonction d'un ensemble de paramètre. Basée sur des valeurs de référence, elle s'apprécie à l'aide de plusieurs paramètres :

- Physiques : matière en suspension, turbidité, transparence, température, conductivité et salinité.
- Chimiques: pH, les sels minéraux (chlorures), la dureté total TH, l'oxygène dissous, phosphate, le fer, sulfate, ...etc.

-




Ces paramètres permettent d'acquérir des connaissances sur la qualité d'eau, de développer une surveillance pour détecter des perturbations et de mettre en place un diagnostic périodique sur les risques attendus. [21]

**Tableau IV.1 :** Les principaux paramètres physico-chimiques avec les méthodes d'analyses de références

Paramètres	Méthodes	Références
pH – Température	Mesure à l'aide du pH mètre avec l'électrode de verre  Figure IV.9 : pH mètre	NFT 90-008
Conductivité	La mesure fait avec un Conductimètre.  Figure IV.10 : Conductimètre	NFT 90-031
Le fer ferreux	Méthode par spectrophotomètre à la longueur d'onde de 510 nm (0 à 3,00 mg/l)  Figure IV.11 : Spectrophotomètre	NFT 90-017
Couleur	Méthode par spectrophotomètre, à la longueur d'onde de 455 nm (0-500 unités)	NF EN ISO 7887



<p><b>Oxygène dissous</b></p>	<p>La mesure fait avec appareil multiparamètre (pH, O<sub>2</sub> et TDS)</p> <div data-bbox="684 226 991 472" style="text-align: center;">  </div> <p><b>Figure IV.12 : Oxymètre</b></p>	<p>NF EN 25814 et ISO 5814</p>
<p><b>Sulfate</b></p>	<p>Méthode par spectrophotomètre à la longueur d'onde de 450 nm (0 à 70 mg/l)</p>	<p>NFT 90-040</p>
<p><b>Ortho-phosphate</b></p>	<p>Méthode par spectrophotomètre à une longueur d'onde de 430 nm (0 à 45,00 mg/l)</p>	<p>HACH N°8114</p>
<p><b>TA, TAC</b></p>	<p>Méthode d'analyse volumétrique, pH= 8.3 pour le TA et pH= 4.5 pour le TAC</p>	<p>NF EN ISO 9963-1</p>
<p><b>TH</b></p>	<p>Méthode d'analyse volumétrique (Titration par EDTA)</p>	<p>NFT 90-003</p>
<p><b>Chlorure</b></p>	<p>Méthode d'analyse volumétrique (Argentmétrie)</p>	<p>NFT 90-014</p>

**IV. 5.1. pH: NFT 90-008**

La mesure est réalisée par la méthode potentiométrique avec électrode de verre, le principe d'analyse est basé sur la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (calomel-KCl saturé) plongeant dans une même solution. [22]

**IV. 5.2. La Couleur : NF EN ISO 7887**

Ce paramètre est mesuré par la méthode au platine-cobalt, le principe de cette méthode se base sur la coloration d'une eau placée dans des tubes à colorimétrie est comparée avec celle d'une solution de référence de platine-cobalt et exprimée en unités ce couleur. [24]



#### IV. 5.3. La conductivité : NFT 90-031

Elle est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. La conductivité est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations. La valeur obtenue par l'analyse s'exprime en micro-siemens par centimètre  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . [22]

La qualité de l'eau en fonction de la conductivité est définie de la manière suivante :

- Conductivité de 50 à 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  .....Qualité excellente (eau douce).
- Conductivité de 400 à 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$  .....Bonne qualité (eau minérale).
- Conductivité de 750 à 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  .....Qualité médiocre mais eau utilisable (eau dure).
- Conductivité > de 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  .....Minéralisation excessive (eau trop dure). [21]

#### IV. 5.4. Le fer ferreux : NFT 90-017

Après l'oxydation en milieu acide par le réactif A (solution d'acétate d'ammonium et l'acide acétique), le fer est réduit à l'état ferreux par le réactif B (solution de chlorhydrate d'hydroxylamine) et ensuite dosé par la phénanthroline 1,10 qui ne réagit qu'avec le  $\text{Fe}^{2+}$  en donnant la coloration rouge mesurée par un spectrophotomètre. [21]

#### IV. 5.5. L'Oxygène dissous : NF EN 25814 et ISO 5814

Le dosage est effectué par la méthode électrochimique, il s'agit d'une mesure ampérométrique d'un courant produit à l'intérieur d'une sonde à oxygène. Cette sonde est constituée d'une cellule fermée d'une membrane sélective à l'oxygène (Téflon ou en polyéthylène) et imperméable à l'eau et aux matières ioniques dissoutes.

A l'intérieur de la sonde se trouvent 2 électrodes métalliques et de l'électrolyte avec une différence de potentiel entre ces 2 électrodes. L' $\text{O}_2$  qui passe à travers la membrane est réduit à la cathode, tandis que les ions métalliques passent en solution de l'anode, créant un courant, la mesure de son intensité permet, grâce à l'étalonnage de l'appareil de connaître la concentration en  $\text{O}_2$  dissous de l'échantillon. [19]



#### IV. 5.6. Les Sulfates : NFT 90-040

Les ions sulfate réagissent avec le chlorure de baryum en milieu chlorhydrique et produit un précipité de sulfate de baryum insoluble. La quantité de turbidité formée est proportionnelle à la concentration du sulfate. Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution spécifique (HCl, Ethanol, NaCl, Glycérol et l'eau distillé) pour but de leur maintenir en suspension. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectromètre. [19]

#### IV. 5.7. L'Ortho-phosphate : HACH N°8114

Ce paramètre est mesuré par la méthode MOLYBDOVANADATE (appelé aussi phosphore réactif). Dans cette technique, l'ortho-phosphate réagit avec le molybdate en milieu acide pour produire un complexe phosphomolybdate.

En présence de vanadium, l'acide vanadomolybdophosphorique jaune se forme. L'intensité de la coloration jaune est proportionnelle à la concentration du phosphate. [24]

#### IV. 5.8. L'alcalinité TA et TAC : NF EN ISO 9963-1

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité de réagir avec les ions ( $H^+$ ) qui est due à la présence des ions ( $HCO_3^-$ ), ( $CO_3^{2-}$ ) et ( $OH^-$ ). La norme ISO 9963-1 définit différents types d'alcalinité :

- Alcalinité au virage de l'orange de méthyle : elle correspond à l'alcalinité totale au pH de 4.5, ce qui revient à déterminer les ions ( $HCO_3^-$ ), ( $CO_3^{2-}$ ) et ( $OH^-$ ). Elle est nommée aussi le titre alcalimétrique complet TAC.
- Alcalinité au point de virage de la phénolphtaléine : elle correspond à l'alcalinité entraînée par les ions ( $OH^-$ ) et la moitié des ions ( $CO_3^{2-}$ ). Par définition, cette alcalinité est nulle pour une eau dont le pH est inférieur ou égale à 8,3. Ce type nommé aussi le titre alcalimétrique TA. [21]

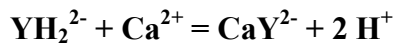
#### IV. 5.9. La dureté totale TH : NFT 90-003

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène.



Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium. On peut déterminer que la dureté totale ou titre hydrotimétrique TH est la somme des concentrations calcique et magnésienne.

Le principe du dosage basé sur la formation de complexes stables entre  $\text{Ca}^{2+}$  et/ou  $\text{Mg}^{2+}$  et l'EDTA ( $\text{YH}_4$ ) ou son sel di-sodique ( $\text{YH}_2^{2-} + 2 \text{Na}^+$ ) :



La fin du dosage est repérée par colorimétrie avec comme indicateur le Noir d'Eriochrome T (NET) de couleur "lie de vin" en présence de  $\text{Ca}^{2+}$  (ou  $\text{Mg}^{2+}$ ) libres, et qui reprend sa teinte bleue lorsque  $\text{Ca}^{2+}$  puis  $\text{Mg}^{2+}$  sont tous complexés par l'EDTA.

Les réactions de complexation avec l'EDTA et la couleur du NET sont sensibles au pH. Le dosage s'effectue à  $9 \leq \text{pH} \leq 10$  (tampon  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ ). De plus à ce pH, on évite les précipitations de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  et  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . [21]

Les résultats obtenus sont mesurées par l'unité Allemand DH (degré Allemand), mais la dureté s'exprime souvent en degré français ( $\text{F}^\circ$ ) selon le classement suivant :

- À  $7^\circ \text{F}$  : eau très douce.
- $0$  à  $14^\circ$  : eau douce.
- $14$  à  $20^\circ$  : eau moyennement dure.
- $20$  à  $30^\circ$  : eau assez dure.
- $30$  à  $50^\circ$  : eau dure.
- $50^\circ$  et plus : eau très dure. [4]

#### IV. 5.10. Les chlorures: NFT 90-014

Les chlorures sont déterminés par la méthode de Mohr, ils sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent. [19]



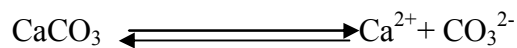
## IV. 6- Les paramètres influençant sur les problèmes techniques de la chaudière étudiée :

### IV. 6.1. Problème de dépôt : (tartre)

#### A. Action des carbonates de calcium et magnésienne :

Les dépôts incrustants communément appelés tartres sont essentiellement constitués de sels d'alcalino-terreux (calcium et magnésium) et leur formation est liée à de nombreux paramètres (Température, pH, la conductivité, TA – TAC, TH, les chlorures et les sulfates). Parmi ces sels, le carbonate de calcium sera l'élément perturbateur principal dans les chaudières à tubes de fumées. [27]

Le carbonate de calcium est en équilibre en solution avec l'ion calcium et l'ion carbonate suivant la réaction :

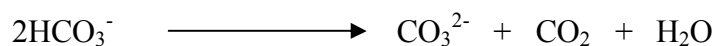


La solubilité du carbonate de calcium est donc liée à la concentration en calcium et en carbonates et donc aux concentrations des différents composés du dioxyde de carbone.

On peut déduire que les résultats obtenus par les analyses de pH, la conductivité, TA–TAC et TH, donnent une idée physico – chimique sur la formation des dépôts de cette nature.

L'équilibre qui lie le calcium aux composés du dioxyde de carbone est appelé équilibre calco – carbonique (ou encore carbo – calcique). Dans une eau qui alimente une chaudière à tube de fumée, on aura une précipitation si :

- La concentration en calcium vient à augmenter avec la progression de la température par évaporation.
- La concentration en carbonates vient à augmenter avec l'élévation du pH.
- La dissociation des ions bicarbonates en carbonates. Les bicarbonates se décomposent pour former des ions carbonates lors d'une élévation de température suivant la réaction :





Cette réaction est d'autant plus totale que l'on se rapproche de 100 °C et fournit les ions carbonates nécessaires à la précipitation du sel qui était le cas dans la chaudière de vapeur, là on arrive jusqu'au 200 °C. Lorsque la température s'élève la qualité du dépôt s'altère (microfissures, porosités, ...). Les dépôts carbonatés sont les tartres les plus communément rencontrés. Ils peuvent être éliminés par voie chimique (en faibles épaisseurs). [6]

### **B. Action des sulfates :**

Les dépôts sulfatés se rencontrent entre autres, dans les circuits soumis à forte évaporation (entraînant une augmentation de la concentration en sulfates). Les tartres sulfatés sont très durs, adhérents aux parois et sont difficiles à éliminer par voie chimique. [27]

### **C. Action de silice :**

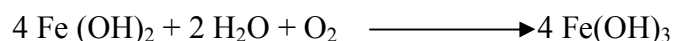
Les dépôts silicatés se rencontrent dans les chaudières vapeur essentiellement. Ils peuvent se former lorsque le titre TAC est faible, les concentrations et températures élevées. Ils sont extrêmement durs, très adhérents, et leur élimination par voie chimique. [27]

## **IV. 6.2. Problème de corrosion :**

La corrosion est toujours le résultat des réactions nombreuses et complexes, mettant en jeu de multiples paramètres.

### **A. Action de l'oxygène :**

L'oxygène est capable d'oxyder l'hydrogène ferreux  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  en hydroxyde ferrique  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  suivant la réaction :



L'hydroxyde ferrique est peu soluble et se dépose à la surface du métal. Mais ce dépôt est poreux et laisse passer les ions qui sont électriquement neutralisés à mesure qu'ils passent en solution.

La corrosion peut donc se poursuivre en profondeur. C'est le processus de corrosion par formation de piqûres qui caractérise la corrosion par l'oxygène. [23]



### B. Action des chlorures :

Les ions chlorures, de très faibles dimensions, traversent facilement les dépôts recouvrant éventuellement les métaux et pénètrent dans les microfissures qui existent toujours à la surface du métal. L'augmentation de la concentration d'une eau en  $\text{Cl}^-$  accroît la probabilité de création d'une infinité de microanodes et la corrosion par piqûres sur les tubes de fumées. [23]

### C. Action des sulfates :

Les ions sulfate augmentent la conductivité électrique de l'eau et favorise donc la corrosion. Les ions sulfate s'adsorbent facilement à la surface des métaux et engendrent des porosités dans les dépôts qui ont tendance à s'y former. [23]

**Tableau IV.2 :** Caractéristiques de qualité des eaux de source, (JORA, 27 – 01 – 2015)

Paramètres	Valeurs maximales
<b>T</b> (°C)	25
<b>pH</b>	$6.5 \leq \text{pH} \leq 9$
<b>CE</b> ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	à (20°C) $\text{CE} \leq 2800$
<b>TH</b> (°F)	$\leq 200$
<b>Alcalinité en <math>\text{CaCO}_3</math></b> (mg/l)	$\leq 500$
<b><math>\text{Cl}^-</math></b> (mg/l)	$\leq 500$
<b><math>\text{NO}_3^-</math></b> (mg/l)	$\leq 50$
<b><math>\text{SO}_4^{-2}</math></b> (mg/l)	$\leq 400$
<b>Fer</b> (mg/l)	$\leq 0.3$

## VI. 7- Diagnostic physico – chimique sur les différentes qualités d'eau de la station :

Une qualité d'eau adaptée à tous les usages n'existe pas. Chaque utilisation correspond à des critères ou normes de qualité qui doivent être respectés. La conformité de l'eau d'alimentation aux exigences des différents de production nécessite plusieurs procédés de traitements appliqués sur l'eau brute jusqu'atteindre les qualités suivantes : eau potable, eau douce, eau adoucie.



**Tableau IV.3 :** Les analyses physico – chimiques sur l'eau brute (Forage Ain Ben Naoui) (Registre d'archive des analyses – SONITEX : 14 -11-1993)

Paramètres	L'eau brute
T (°C)	22
pH	7.43
CE (µS/cm)	7481
TAC (mg/l)	177.6
TH (°F)	74.5
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	357.2
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	721.8
O <sub>2</sub> (mg/l)	0.18
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	934.5
Fe (mg/l)	0.16
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	49.1

#### IV. 7.1. Caractéristiques physico – chimiques de l'eau brute (Forage Ain Ben Naoui):

##### **A. Les analyses physico – chimiques de l'eau brute :**

La qualité de l'eau brute dépend de son degré de pollution et de sa teneur en minéraux, variable selon la nature du sol ou encore les activités humaines à proximité de la ressource. C'est pour cette raison, avant d'utiliser l'eau brute, on doit examiner leur qualité et déterminer sa nature physico-chimique et leur degré de pollution afin de choisir les procédés de traitement efficaces pour la rendre conforme aux normes ou critères d'exploitation désirés.



### **B. Lecture analytique sur les analyses concernant l'eau brute :**

L'eau brute extraite d'une nappe souterraine contient généralement des quantités excessives de sels minéraux. Le constructeur des machines exige toujours une qualité d'eau conforme aux normes de service pour éliminer les perturbations dans la production, augmenter la protection des équipements et atteindre les besoins souhaités par les entreprises industrielles.

Les analyses effectuées sur l'échantillon prélevé dans notre forage (Ain Ben Naoui) montrent que la qualité d'eau brute est de la saumure et trop dure par rapport aux besoins de l'usine TIFIB.

D'après les valeurs de la conductivité, la dureté totale, les chlorures et les sulfates, on constate que l'eau brute nécessite des traitements spécifiques pour réduire les concentrations optimales des sels minéraux et éviter leurs impacts nocifs sur la chaudière de vapeur et les autres machines de production.

On peut faire une comparaison entre les résultats cités dans le tableau IV.2 avec les valeurs mentionnées dans le tableau IV.3 et déduire le procédé performant pour le traitement appliqué sur l'eau brute qui est l'osmose inversée dans l'objectif principal est éliminer le taux de sels dissous indésirable.

### **IV. 7.2. Caractéristiques physico – chimiques de l'eau potable :**

L'eau brute contient des éléments à des concentrations dépassant largement les normes de potabilité.

Ceci est dû à la composition du terrain où se trouve le forage (à Ain Ben Naoui).

Pour arriver à une eau consommable par l'être humain, l'eau de forage doit être traversée la ligne de traitement existant dans la station avant la distribue au personnel de l'usine TIFIB.



### A. Les analyses physico – chimiques de l'eau potable :

**Tableau IV.4 :** Les analyses physico – chimiques sur l'eau potable durant mois de janvier :  
(Laboratoire de traitement des eaux, Registre des analyses – TIFIB, 2020)

Mois de janvier	Les paramètres							
	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	TH (°F)	TAC (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sub>2</sub> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)
<b>Mer 1</b>	26	7.9	879	27.03	91.5	221.2	0.09	280.2
<b>Jeu 2</b>	25.2	7.8	856	27.2	90.4	218.3	0.08	311.1
<b>Dim 5</b>	25.1	7.9	892	25.6	93.2	223.1	0.08	332.5
<b>Lun 6</b>	25.5	7.88	842	28.1	97.6	204.57	0.09	291.7
<b>Mar 7</b>	26.5	7.5	838	23.6	91.3	198.7	0.08	321.8
<b>Mer 8</b>	25.3	8.05	809	24.7	90.2	181.2	0.1	307.5
<b>Jeu 9</b>	26.2	7.9	814	23.45	85.8	203.1	0.1	296.8
<b>Dim 12</b>	25.1	7.9	883	23.4	87.1	224.9	0.1	341.9
<b>Lun 13</b>	25.5	8	868	23.6	87.4	213.8	0.15	310.4
<b>Mar 14</b>	26.2	7.9	836	28.6	84.2	193.6	0.09	335.6
<b>Mer 15</b>	25.5	7.6	871	30.2	67.5	210.3	0.07	328.9
<b>Jeu 16</b>	26.1	7.5	840	27	54.9	197.9	0.07	317.5
<b>Dim 19</b>	25.2	7.8	821	21	58.1	204.5	0.09	314.5
<b>Lun 20</b>	25.5	7.8	818	28.6	75.4	206.4	0.08	322.7
<b>Mar 21</b>	26	7.7	832	28.24	79.2	211.3	0.07	346.3
<b>Jeu 23</b>	25.5	7.9	841	29.18	87.3	222.6	0.07	339.1
<b>Dim 26</b>	22	7.8	853	31.9	86.9	231.2	0.09	299.8
<b>Lun 27</b>	24.5	7.9	847	32.4	84.5	227.4	0.09	321.3
<b>Mar 28</b>	25.1	7.7	817	31.7	81.3	208.4	0.08	319.8
<b>Mer 29</b>	24.5	7.8	838	32.3	82.1	216.26	0.08	312.7



### B. Lecture analytique sur les analyses concernant l'eau potable :

D'après la comparaison entre les analyses effectuées pendant le mois de janvier sur l'eau potable et les normes citées dans le tableau IV.2, on déduit que la qualité d'eau potable traitée dans la station est sous les normes de consommation humaine, mais on peut constater qu'il y a quelques valeurs non recommandées pour les paramètres suivants :

- pH : pour les jours (8 – 9 – 12 – 13, janvier) le pH est entre 7.9 – 8.05, même que cette valeur est sous les normes mais la valeur souhaitée est 7.5 par rapport aux eaux minérales naturelles. L'augmentation du pH dans ces jours est due au dosage de l'eau de javel (18°) dans le bassin B26 pour désinfecter l'eau contre les bactéries et les microorganismes. La valeur du chlore libre  $Cl_2$  doit être maintenue en dessous de 0.1 mg/l pour éviter la progression du pH.
- La dureté totale : pour les jours (15 – 26 – 27 – 28 – 29, janvier) le TH est entre 30 – 32 (°F), ces valeurs montrent que la qualité d'eau potable est dure d'après la classification mentionnée dans le principe d'analyse concernant la dureté totale (page64).
- Les chlorures et les sulfates : sont les sels qu'on doit les réduire mieux que les valeurs obtenues à cause de leurs effets indésirables sur les canalisations de distribution dans l'usine TIFIB.

### IV. 7.3. Caractéristiques physico – chimiques de l'eau douce (osmose inversée) :

L'eau brute est filtrée sous pression à travers une membrane. Les sels minéraux sont retenus par cette dernière. Ce procédé nécessite toutefois un traitement de l'eau en amont qui se présente par les filtres à deux matières (sable – charbon) et les filtres fins pour éliminer les éléments responsables du colmatage des modules d'osmose inversée.

L'objectif de ce type de filtration est de produire une eau partiellement déminéralisée avec une conductivité d'environ 100 – 400  $\mu S/cm$ , cette qualité d'eau s'appelle une eau douce suivant la classification cités ci-dessus (page63) concernant le principe d'analyse de conductivité.



### A. Conception du passage de l'eau à travers le bloc de filtration pour la production d'une eau douce:

La station du traitement des eaux contient 3 blocs d'osmose inversée. Suivant les besoins de la production au démarrage de l'usine TIFIB en 1982, les 2 blocs sont conçus pour fonctionner en parallèle pour assurer la consommation optimale d'eau douce par les ateliers de lavage et le 3<sup>ème</sup> reste en réserve en cas de panne de l'un des autres blocs.

Malheureusement, le 3<sup>ème</sup> bloc était hors service à cause de mauvais entretien, ainsi la perte de performance de chaque module d'osmose qui atteint 5 % pour une durée de 5 ans d'exploitation selon le fabricant. On peut estimer que la productivité du bloc d'osmose est diminuée jusqu'à 40 %, c'est pour cette raison il est nécessaire de réaliser un entretien périodique calculé afin d'assurer les performances du bloc à un niveau optimal.

D'après la conception du constructeur, le bloc se compose de 40 modules d'osmose inversée divisés par 3 étages pour augmenter le rendement de filtration jusqu'à 85%. Le 1<sup>er</sup> étage comporte 23 modules d'osmose, le 2<sup>ème</sup> étage contient 11 modules et le dernier étage comprend 6 modules.

Après la filtration à 2 matières, l'eau brute passe au filtre à cartouche pour retenir les particules de taille supérieure à 5 micron. Pour réduire le taux de sels, l'eau est soumise à un passage à haute pression de  $P = 23$  bar dans le bloc d'osmose inversée.

L'eau traverse cette installation de filtration à partir du 1<sup>er</sup> étage, le perméat résultant se transmet vers le bassin de stockage B28 et le concentrât passe au 2<sup>ème</sup> étage pour le second traitement, la même manière pour le perméat résultant par cet étage qu'il est stocké dans le B28 et le concentrât est envoyé vers le 3<sup>ème</sup> étage pour la même procédure précédente.

Chaque bloc d'osmose est équipé par une pompe semi-automatique pour le dosage des produits chimiques :

- Acide sulfurique technique  $H_2SO_4$  (97%) : pour maintenir le pH entre [5.5 – 5.8].
- L' Hexa-méta-phosphate de sodium  $(NaPO_3)_6$  : pour l'inhibition de précipitation qui provoque le colmatage du module, l'efficacité optimale de cet agent est assurée dans un pH [5.5 – 5.8] selon le constructeur.



**Tableau IV.5 :** L'efficacité du bloc n°2 par les analyses appliquées sur les 40 modules de filtration : (Laboratoire de traitement des eaux, Registre des analyses – TIFIB, janvier 2020)

Les modules		Les paramètres			
		T (°C)	pH	CE (µS/cm)	
Permeat du 1 <sup>er</sup> étage	Module 1	25	5.9	716	781
	Module 2	25		821	
	Module 3	25		753	
	Module 4	25		911	
	Module 5	25		847	
	Module 6	25		652	
	Module 7	25		417	
	Module 8	25		318	
	Module 9	25		734	
	Module 10	25		872	
	Module 11	25		734	
	Module 12	25		831	
	Module 13	25		518	
	Module 14	25		610	
	Module 15	25		748	
	Module 16	25		813	
	Module 17	25		891	
	Module 18	25		458	
	Module 19	25		576	
	Module 20	25		599	
	Module 21	25		719	
	Module 22	25		882	
	Module 23	25		657	
Permeat du 2 <sup>ème</sup> étage	Module 24	25	6.1	836	754
	Module 25	25		878	
	Module 26	25		792	
	Module 27	25		687	
	Module 28	25		654	
	Module 29	25		734	
	Module 30	25		668	
	Module 31	25		419	
	Module 32	25		536	
	Module 33	25		598	
	Module 34	25		472	
	Permeat du 3 <sup>ème</sup> étage	Module 35		25	
Module 36		25	789		
Module 37		25	794		
Module 38		25	861		
Module 39		25	737		
Module 40		25	813		





## B. Lecture analytique sur la performance des modules d'osmose exploités :

A partir le tableau IV.5 qui représente les résultats obtenus par les analyses effectuées sur chaque modules d'osmose inversée, on a constaté que l'efficacité de filtration est médiocre et loin de ce qui est mentionné par le constructeur concernant la conductivité ou le rendement optimale des modules utilisés. Pour les nouveaux modules, la conductivité maximale ne dépasse pas 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  par contre selon les résultats citées dans le tableau IV.5, on n'est pas satisfait par la conductivité indiquée pour toutes les modules. La perte de performance du module d'osmose est prévue d'après le fabricant (5%), mais l'absence d'une maintenance qualifiée ou le mauvais entretien s'il existe avec la négligence du personnel et d'autres obstacles ont une influence négative sur la durée de vie souhaitée pour les modules exploités dans ce type de filtration.

La conductivité du perméat dans le 1<sup>er</sup> étage (781  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), 2<sup>ème</sup> étage (754  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), et le 3<sup>ème</sup> étage (863  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) signifie qu'il y a un taux considérable des sels minéraux. La comparaison entre ces valeurs de la conductivité avec les résultats obtenus dans l'eau potable pour le même paramètre prouve la présence d'une quantité élevée des cations (Calcium et Magnésium) représentant la dureté de l'eau (TH entre 20 – 30 °F) qui provoquent l'arrivée rapide au point de saturation des résines responsables sur l'adoucissement appliquée par la suite de ce procédé de traitement (osmose inversée).

La filtration optimale par les modules de bloc n°2 se fait pour un pH qui varie entre [5.5 - 5.8] selon le constructeur ce qui est incomparable avec les résultats mentionnés dans le tableau IV.5 à cause d'une mauvaise pompe semi-automatique qui dose l'acide sulfurique au sein de bloc d'osmose d'une manière inconsistante. La qualité d'eau désirée pour les besoins de l'usine nécessite :

- Un nouveau bloc d'osmose dans l'objectif principale est atteindre la conductivité recommandée par le constructeur des machines exploitées cette eau.
- Réaliser un nouveau forage pour alimenter l'usine par une eau conforme aux normes de fonctionnement des machines ou équipements.

La 1<sup>ère</sup> solution n'est pas faisable pour une raison logistique qui se présente par la situation financière critique de l'usine et l'absence d'une stratégie claire à moyen terme et long terme ce qui concerne les finalités économiques de l'activité principale de l'usine.

La 2<sup>ème</sup> solution est réalisée au sein de l'entreprise TIFIB en 2015, mais malheureusement le débit faible d'eau extrait par ce forage n'est pas suffisant pour le volume de production prévu.

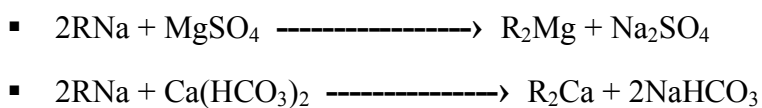


#### IV. 7.4. Caractéristiques physico – chimiques de l'eau adoucie (échangeur d'ions) :

##### A. **Fonctionnement de l'adoucisseur cationique :**

Après le procédé de filtration par l'osmose inversé, l'eau douce est envoyée vers l'échangeur d'ions cationiques (Adoucisseur) pour effectuer la déminéralisation sélective qui élimine les cations (Ca, Mg) dans le but impératif est protéger la chaudière contre les dépôts (tartre) qui se précipitent sur les tubes de fumées.

Le principe de fonctionnement de ce type de procédé se présente par les équations suivantes :



La ligne du traitement des eaux consiste par 2 adoucisseurs cationiques. Selon la conception de la production déterminée par le constructeur, le 1<sup>er</sup> échangeur doit fonctionner lorsque le 2<sup>ème</sup> échangeur est en réserve ou en cycle de régénération et inversement aussi.

La procédure de régénération est programmée lorsque le point de saturation de la résine constituant l'adoucisseur est atteint. Le cycle de cette opération doit être respecté suivant les étapes indiquées ci-dessous :

- Lavage Co-courant par une solution très concentrés en NaCl de manière à inverser les réactions citées précédemment pour charger la résine par des ions de sodium et envoyer la solution riche en calcium et magnésium vers l'évacuation.
- Rinçage réalisé par 2 manières :
  - Rinçage lent à faible débit pour déplacer la saumure sur la totalité du lit de résine et d'éliminer l'excès de sel.
  - Rinçage rapide à fort débit pour éjecter les dernières traces de saumure qui persistent dans l'adoucisseur en fin de rinçage lent.
- Remise en service par 2 étapes :
  - La 1<sup>ère</sup> production se fait vers l'évacuation, on peut renvoyer une petite quantité de cette production vers le bac de préparation de la saumure pour la nouvelle régénération.
  - La 2<sup>ème</sup> production s'effectue vers la chaudière de vapeur.



### B. Les analyses physico – chimiques de l'eau adoucie :

**Tableau IV.6 :** Les analyses réalisées sur la qualité d'eau adoucie et l'influence du lavage sur la dureté : (Laboratoire de traitement des eaux, Registre des analyses – TIFIB, janvier

Mois de janvier	Les paramètres			
	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	TH (°F)
Mer 1	25	7.8	822	1.79 à 8 <sup>h</sup> 20
		8.4	814	0 à 10 <sup>h</sup> 20
Jeu 2	25	7.7	853	0
Dim 5	25	8.01	865	0
Lun 6	25	8.1	862	0.9 à 8 <sup>h</sup> 15
		8.3	853	0 à 10 <sup>h</sup> 30
Mar 7	25	8.2	876	0
Mer 8	25	8.05	859	0
Jeu 9	25	8.1	864	0.83 à 8 <sup>h</sup> 30
		8.32	843	0 à 10 <sup>h</sup> 25
Dim 12	25	7.88	881	0
Lun 13	25	8.07	837	0
Mar 14	25	8.05	806	1.3 à 8 <sup>h</sup> 20
		8.3	791	0 à 10 <sup>h</sup> 30
Mer 15	25	8.03	792	0
Jeu 16	25	7.92	796	0
Dim 19	25	8.16	828	3.2 à 8 <sup>h</sup> 15
		8.4	811	0 à 10 <sup>h</sup> 25
Lun 20	25	7.97	841	0
Mar 21	25	8.06	812	0
Jeu 23	25	7.9	847	2.4 à 8 <sup>h</sup> 30
		8.2	830	0 à 10 <sup>h</sup> 30
Dim 26	25	8.05	832	0
Lun 27	25	8.1	814	0
Mar 28	25	8.08	839	0.79 à 8 <sup>h</sup> 25
		8.32	816	0 à 10 <sup>h</sup> 15
Mer 29	25	8.02	811	0



### C. L'impact du lavage sur la dureté de l'eau adoucie dans l'échangeur cationique :

D'après les valeurs indiquées dans le tableau IV.6, on a constaté plusieurs points significatifs :

1. Le pouvoir d'échange d'ions de la résine cationique est efficace pour éliminer les sels (Ca, Mg) ce qui présente dans les valeurs de la dureté (TH = 0).
2. La performance du lavage est acceptable pour reprendre la capacité d'échange d'ions de la résine.
3. Les valeurs de la conductivité varient entre 740 – 930  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ce qui montre l'influence indésirable des sels minéraux par leurs concentrations élevées sur la saturation rapide de la couche filtrante.
4. Les opérations de lavage effectuées pendant un mois de travail sont nombreux (7 fois), ce qui influe directement sur la consommation excessive de NaCl. On peut dire que la rentabilité de lavage dépend au nombre des opérations réalisées.
5. La dureté doit être contrôlée régulièrement et déterminer le temps nécessaire pour atteindre le point de saturation afin d'éviter les problèmes liés à la chaudière de vapeur ce qui concerne le tartre provoqué par les ions Ca et Mg.
6. Le procédé d'échange d'ions ou la régénération de la résine n'a pas d'effet remarquable sur la conductivité. Le taux de sels dissous dans l'eau traitée est presque stable pendant la réalisation du lavage ou l'adoucissement.
7. Si on fait une comparaison entre les valeurs indiquées dans le tableau IV.5 et IV.6 concernant la conductivité, on peut déduire le terrain là où il faut intervenir pour réduire la quantité des sels dissous qui perturbent le fonctionnement de l'adoucisseur et provoquent la formation des dépôts et la corrosion de la chaudière à tubes de fumées. On doit trouver une solution efficace sur le rendement des modules d'osmose inversées qui est le facteur principale de tous anomalies existées.



# CHAPITRE 5

Interprétation des analyses  
et la solution technique  
proposée pour la chaudière

---

**V. 1- Le comportement physico – chimique de la chaudière à tubes de fumées vis-à-vis l’eau et le dosage :**

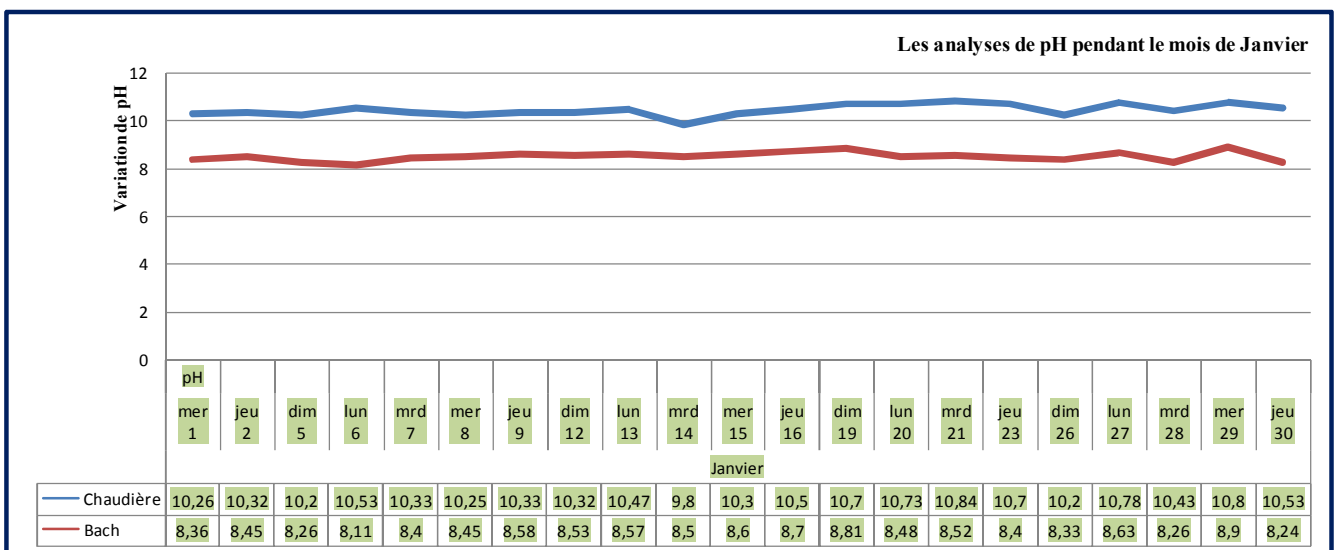
L'importance de la production du vapeur pour le rendement général des machines nécessite une surveillance permanente de la chaudière à tubes de fumées, c'est pour cette raison, les analyses sont effectuées régulièrement tous les jours afin de détecter les anomalies et d'intervenir rapidement sur les problèmes dangereux. Plus la protection est efficace, plus la production est stable et atteint un niveau optimal en évitant les grands d'arrêts.

**V. 1.1. Application des analyses avec les représentations graphiques :**

Les analyses physico – chimiques sont effectuées en collaboration du personnel responsable de laboratoire pour atteindre la précision optimale dans les résultats obtenus. Nous avons fixé le mois de janvier pour but de réaliser les analyses nécessaire à notre étude selon les critères suivant:

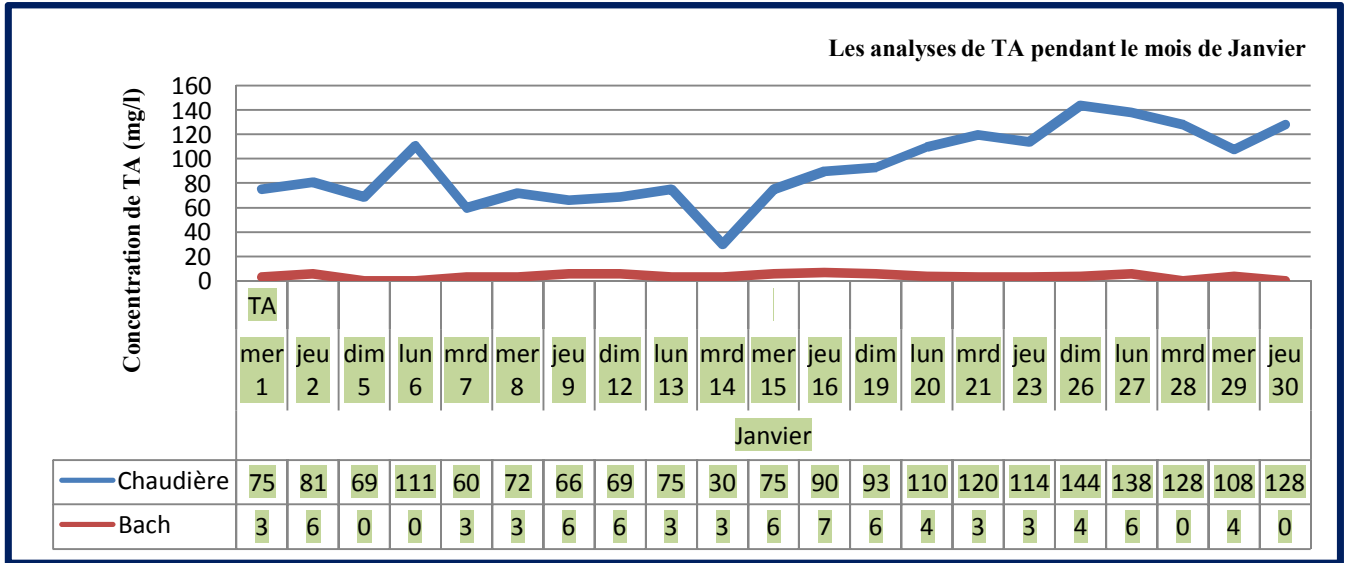
- L'absence d'arrêts durant ce mois qui nous a permis de réaliser les analyses de façon permanente.
- La consommation élevée de l’eau adoucie pour la production de la vapeur.
- La chaudière de vapeur a fonctionnée pendant 7 heures chaque jour durant ce mois, ce qui nous aide à comprendre l’effet de l’eau traitée sur la chaudière.

Nous avons réalisé des représentations graphiques (figure V.1 – V.2 et V.3) pour les analyses effectuées sur les trois paramètres : pH, TA et TAC pour démontrer la relation entre le pH et les variations détectées dans les valeurs de TA et TAC.

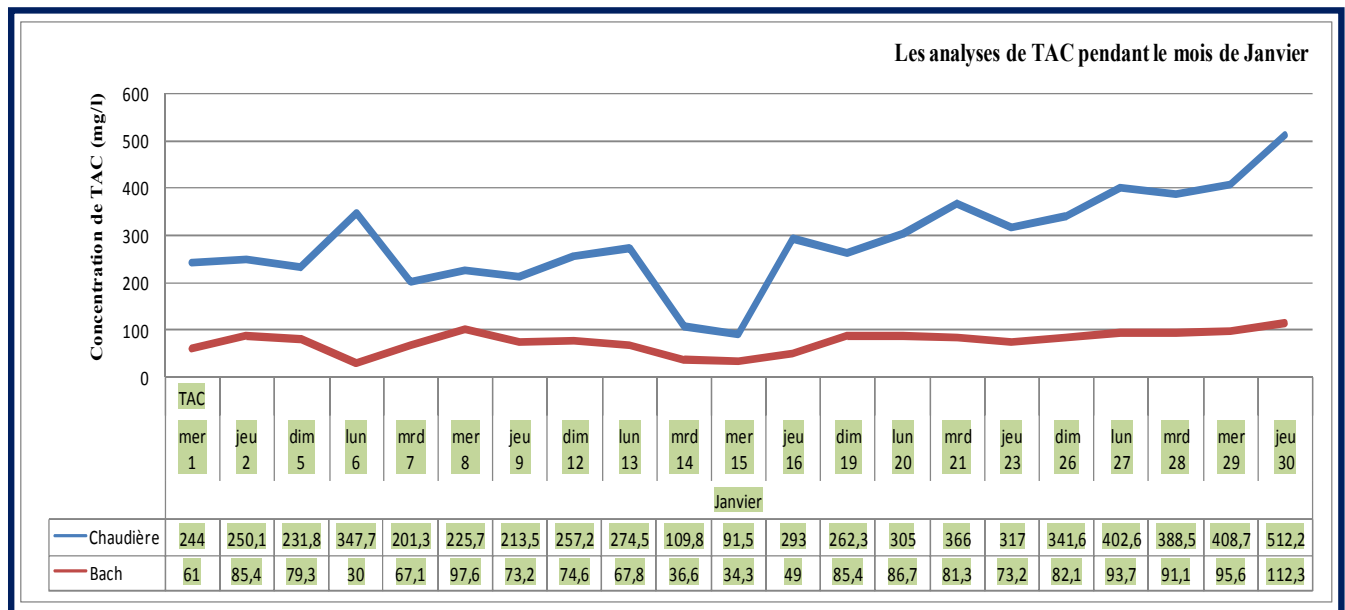


**Figure V.1 :** Représentation graphique du pH pour la bêche et la chaudière.





**Figure V.2 :** Représentation graphique du TA pour la bache et la chaudière.

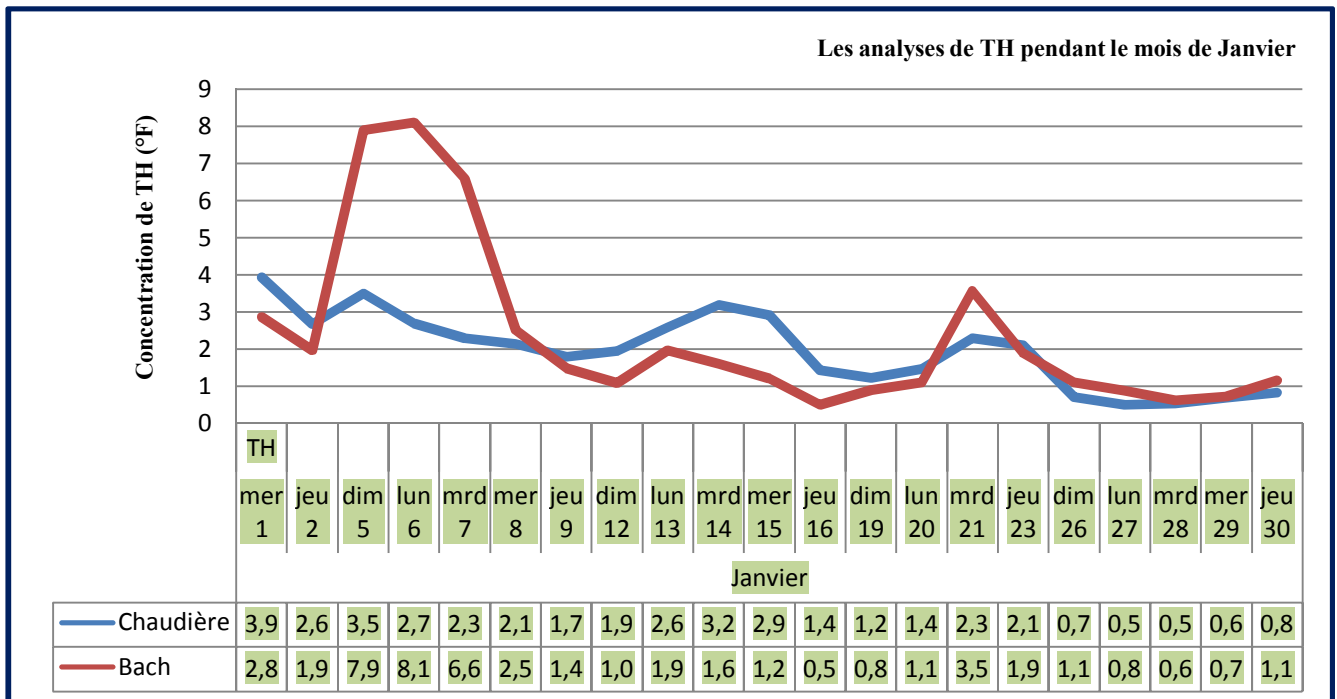


**Figure V.3 :** Représentation graphique du TAC pour la bache et la chaudière.

D’après les représentations graphiques, lorsque le pH est inférieur à 8.3 comme les valeurs indiquées dans les jours (5, 6, 28, 30 – janvier) pour la bache, la valeur du TA qui correspond à ces jours égale à 0 ; cette observation valide ce qui mentionné dans le principe d’analyse du TA (p64).

Les valeurs du TA et TAC sont variables et élevées dans la plupart du mois vis-à-vis les normes citées dans le tableau II.3, ce qui signifie la grande possibilité de formation de dépôts par l’action des carbonates.





**Figure V.4 :** Représentation graphique du TH pour la bâche et la chaudière.

Selon les résultats du TH qui sont indiquées dans le graphique ci-dessus, nous avons constaté que le rendement de l'adoucisseur responsable sur l'élimination du (Ca, Mg) n'était pas fiable. Toutes les valeurs du TH en janvier sont hors norme ( $< 0.09$  °F) ce qui favorise la création du tartre de nature calcique et magnésienne sur les tubes de fumées de la chaudière.

On doit assurer le bon fonctionnement de l'échangeur d'ions afin de maintenir le TH à 0 °F et éliminer l'action du carbonate avec les cations (Ca, Mg) pour éviter l'un des problèmes les plus compliqués dans l'industrie du production de vapeur.

On observe 2 pics dans la représentation graphique du TH pendant le (5, 6, 7 janvier) et (21, 23 janvier) pour la dureté de la bâche, ce qui influe directement sur la valeur du TH dans la chaudière pour les jours ultérieurs. L'opérateur de la chaufferie a fait des extractions périodiques programmées selon le débit de vapeur afin de réduire la dureté et maintenir le niveau de production aussi, ce qui est montré dans la courbe du TH concernant la chaudière.





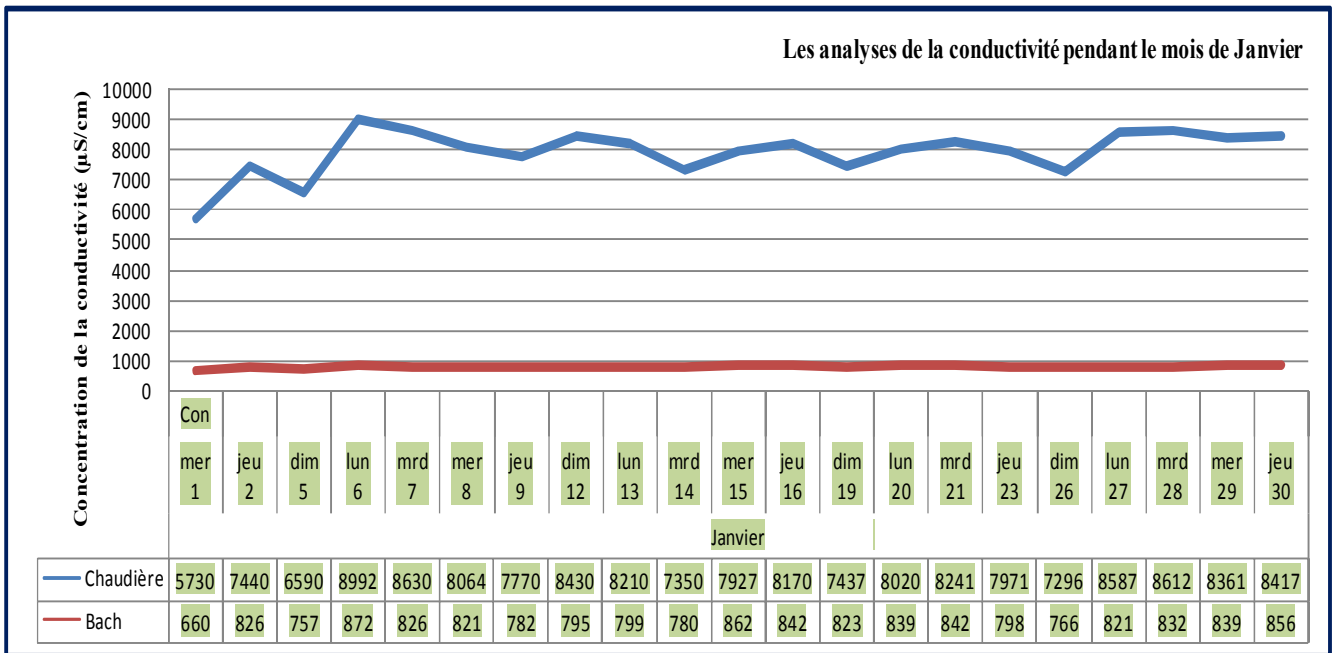


Figure V.5: Représentation graphique de la conductivité pour la bâche et la chaudière.

Les variations de la conductivité qui sont représentées par la figure V.5 démontrent que les valeurs indiquées durant mois de janvier sont :

- Hors norme pour la chaudière de vapeur ( $CE < 8000\mu S/cm$ ) pendant 12 jours.
- Hors norme pour la bâche ( $CE < 500 \mu S/cm$ ) durant un mois complet.

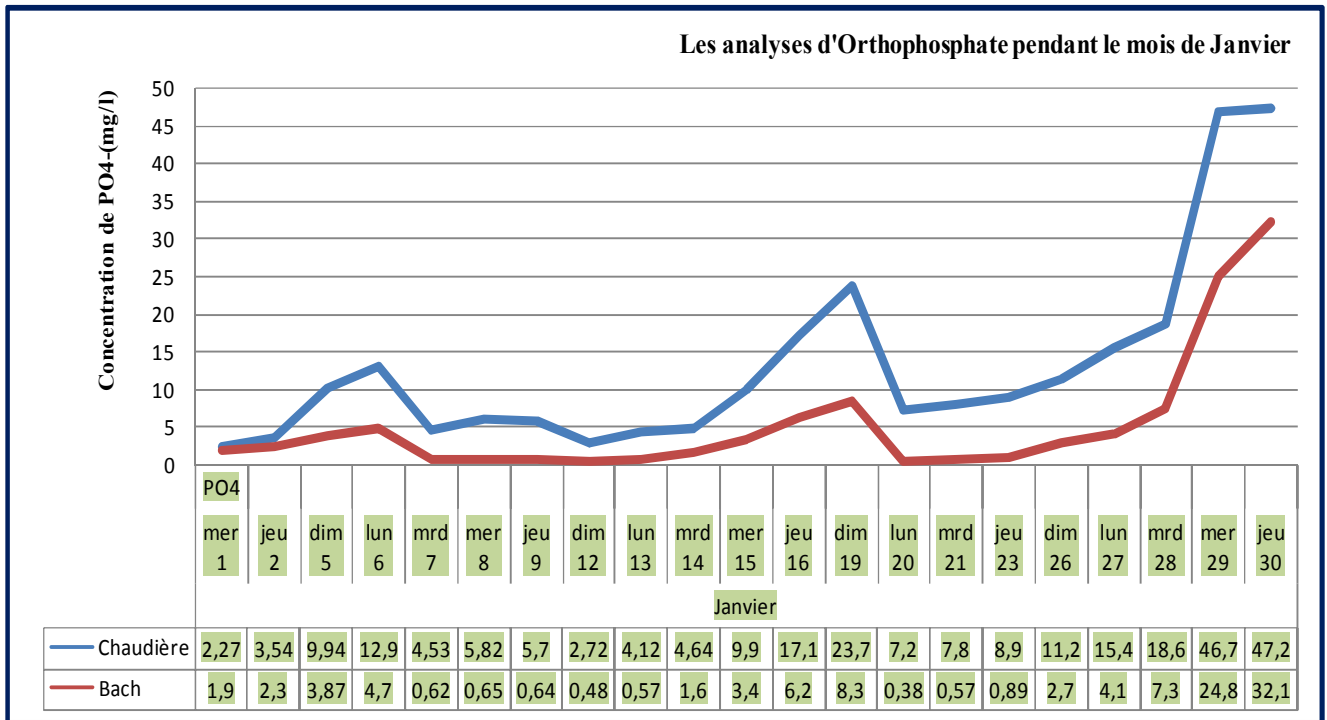
Ce qui est intéressant à propos de la conductivité dans la bâche, c’est le mauvais rendement de filtration par l’osmose inversée ; on ne peut atteindre les valeurs qui conforment à la norme requise si le problème d’efficacité persiste.

Le taux de sels qui se présente par la conductivité joue un rôle principal dans les concentrations obtenues des sulfates, des chlorures et la dureté. On peut déterminer la nature des dépôts à partir des valeurs représentant les 3 paramètres précédents : dépôts de tartre, dépôts de sulfate de fer (la boue existé dans le fond de la chaudière) et l’action des chlorures sur les points de fissures générés par les sulfates sur les tubes de fumées.

On a constaté que la conductivité au niveau de la chaudière est supérieur presque 10 fois par rapport au même paramètre dans la bâche. Cette différence dans le taux de sels s’explique par l’effet d’évaporation de l’eau à une température de 200 °C avec une pression de 18 bar dans la chaudière.



L'objectif du dosage par le phosphate trisodique  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  est d'augmenter le pH de 8 de l'eau d'alimentation la chaudière jusqu'à un pH sous les normes ( $9 < \text{pH} < 12$ ) ce qui est présenté dans le graphique du pH.



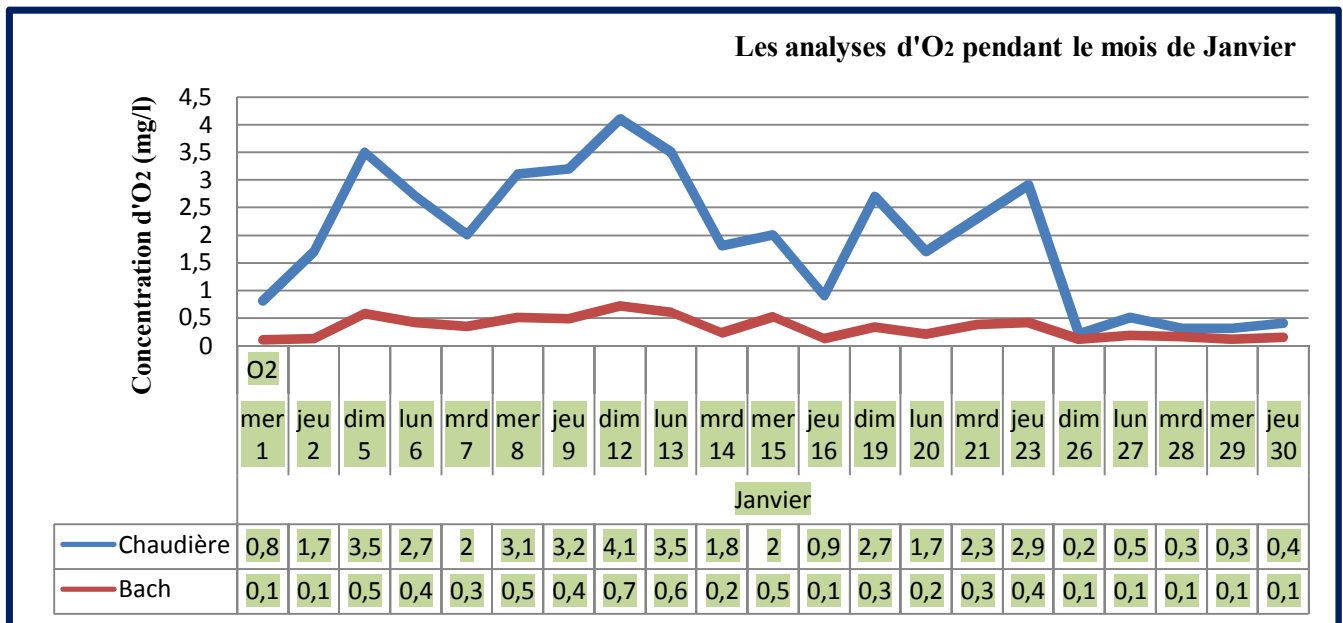
**Figure V.6:** Représentation graphique d'ortho-phosphate pour la bache et la chaudière.

Selon les analyses indiquées dans les représentations graphiques du pH et l'ortho-phosphate, on déduit qu'il y a une relation directe entre les concentrations représentant le dosage de  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  avec les variations du pH. On peut distinguer que les petites concentrations du phosphate dosé sont suffisantes pour atteindre le pH désiré.

On observe 3 pics dans la courbe qui représente la concentration du  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  dans la chaudière, ce qui montre la mauvaise performance de la pompe doseuse ou la négligence du personnel responsable de dosage. Dans cette situation, les variations de la concentration d'ortho-phosphate ne peuvent pas être stabilisées à la valeur souhaitée.

Pour assurer le pH sous la norme désirée, on doit régler le débit de la pompe doseuse d'une manière proportionnelle avec le débit d'eau d'alimentation.





**Figure V.7:** Représentation graphique de l'oxygène dissous pour la bâche et la chaudière.

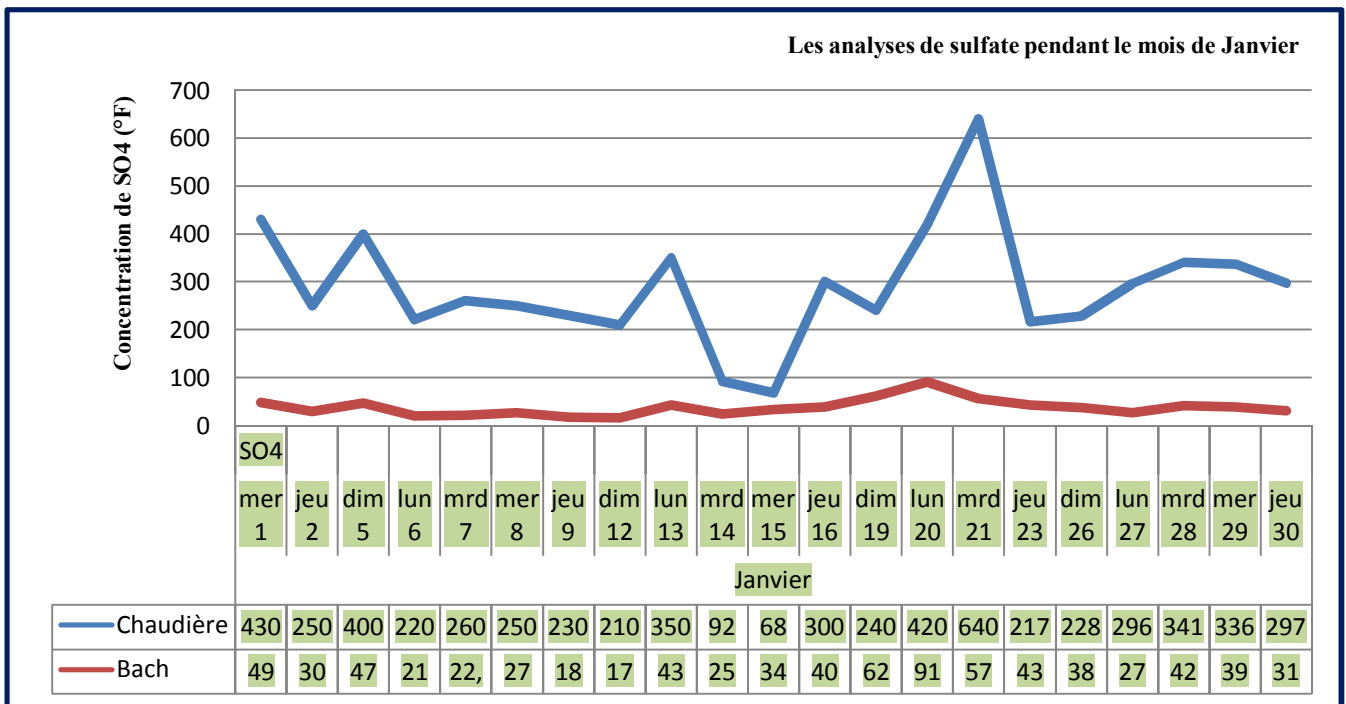
L'oxygène est l'un des principaux facteurs qui provoquent la corrosion dans la chaudière en particulier les tubes de fumées et le foyer. C'est pour cette raison, l'analyse de l'oxygène est très importante pour comprendre leur action sur le métal et détecter la phase critique concernant l'évolution de la corrosion.

La représentation graphique montre que la norme citée dans le tableau II.2 à propos de l'O<sub>2</sub> n'est pas respectée (< 0.02 mg/l) durant tous les jours de mois pour la bâche et la chaudière, ce qui accélère la corrosion et influe directement sur les concentrations de fer ferreux indiquées dans sa représentation graphique. Pour éliminer l'O<sub>2</sub> et diminuer leur effet nocif, ils ont fait un dosage par l'hydrazine dans les années passées comme agent inhibiteur d'oxygène grâce à leur efficacité. Ce produit chimique est interdit d'exploitation industrielle par leur effet cancérigène depuis quelques années, c'est pour cette raison, ils ont remplacé le par bisulfite de sodium (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) comme agent antioxydant. La bâche d'eau est équipée par un dégazeur pour renforcer le système d'inhibition d'oxygène selon les actions suivantes :

- Dégager une grande partie d'O<sub>2</sub> qui se forme par le mélange du retour de condensat de la vapeur utilisée dans la production avec une quantité d'eau d'alimentation stockée dans la bâche.
- La petite concentration d'O<sub>2</sub> qui se reste est captée par le dosage du Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>.



Malheureusement, ce dégazeur n'est pas en service à cause de l'absence d'une maintenance qualifiée pour faire un entretien parfait concernant cet équipement. Ce point nous a permis d'interpréter l'efficacité faible du bisulfite de sodium qui est conçu pour les petites concentrations d'O<sub>2</sub>.



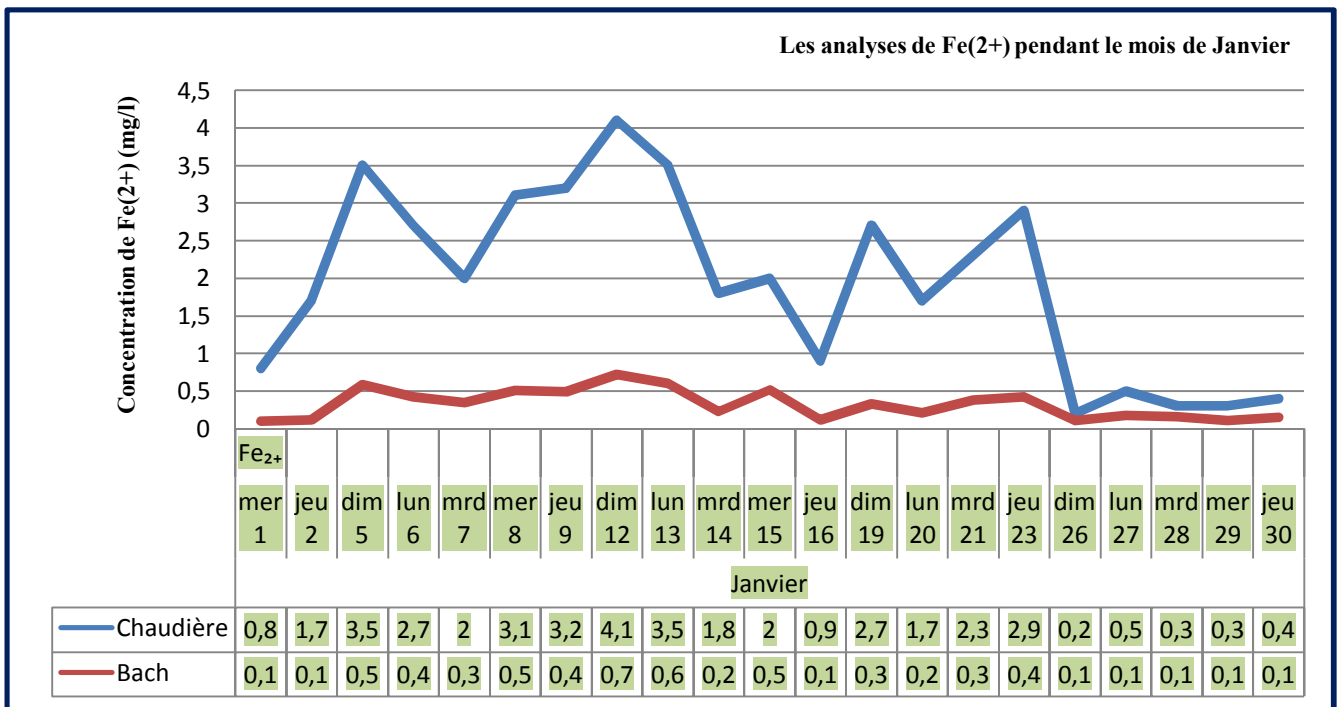
**Figure V.8:** Représentation graphique du sulfate pour la bâche et la chaudière.

Nous avons constaté d'après cette représentation graphique du sulfate que les concentrations indiquées du dosage appliqué du Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> dans la bâche ne sont pas respectées sauf dans 7 jours du mois, elles sont trop élevées par rapport la norme (10 – 30 mg/l).

Les valeurs représentant la concentration du sulfate dans la chaudière montrent qu'il y a un excès indésirable qui favorise l'apparition des dépôts à base de sulfate de fer. Cette formation doit être évitée par leur impact dans la corrosion.

Les dépôts du sulfate de fer sont trop difficiles à éliminer. Par leur action puissante et avec la température élevée dans la chaudière, le FeSO<sub>4</sub> a créé des zones faibles sur les tubes de fumées qui permettent aux ions chlorures d'attaquer ces zones en provoquant des points de fissure.





**Figure V.9 :** Représentation graphique du fer ferreux pour la bêche et la chaudière.

Durant tout le mois de janvier, on n'a pas arrivé à une concentration du fer conforme à la norme voulue ( $< 0.05$  mg/l). D'après les valeurs indiquées dans la représentation graphique ci-dessus, on déduit que la corrosion du métal se forme rapidement à cause de plusieurs facteurs qui sont mentionnés dans l'interprétation précédente des analyses appliquées.

### **V. 1.2. Les principaux obstacles pour la protection de la chaudière :**

Suivant les concentrations obtenues du fer, les analyses effectuées pour des autres paramètres et les connaissances acquises au cours de cette étude, on peut résumer les difficultés existées pour atteindre une meilleure protection de notre chaudière de vapeur :

1. La performance de l'osmose inverse est le facteur principal dans tous les problèmes détectés.
2. La mauvaise qualité des pompes exploitées pour le dosage dans la station et la chaufferie.
3. L'arrêt total du dégazeur utilisé pour la bêche d'eau.
4. Le positionnement aléatoire des modules d'osmose inverse dans les 3 étages constituant le bloc.
5. L'absence d'une surveillance des cartouches constituant le filtre fin pour les remplacer en cas de leurs bouchages.



6. L'absence du personnel qualifié pour faire l'entretien périodique aux équipements tel que : les modules d'osmose inverse, l'adoucisseur, le filtre à cartouches, le dégazeur et la chaudière.
7. Type de résine cationique exploitée dans l'adoucisseur est inconnu (résine faible ou forte).
8. La négligence vis-à-vis les instructions de travail des équipements qui sont citées dans les manuels d'exploitation.

## **V. 2- Une solution technique proposée pour avoir une meilleure protection de la chaudière :**

Le grand problème qu'on a détecté au cours de notre étude est le taux de sels minéraux excessifs qui se présente dans les résultats obtenus par l'analyse de la conductivité. Les ions de Ca, Mg, les chlorures et les sulfates sont les sels les plus fréquents dans l'eau d'alimentation qui ont un effet nocif sur la chaudière de vapeur concernant les 2 problèmes les plus réponsues dans l'industrie : la corrosion et les dépôts de tartre. Pour traiter ce problème, il faut faire une intervention bien étudiée dans le procédé d'osmose inversée.

La situation financière critique de l'usine TIFIB a une influence directe sur la nature de traitement à effectuer sur la chaudière, cette situation reste un obstacle devant les responsables pour présenter une solution magique telle que : l'achat d'un nouveau bloc d'osmose inversée ou réaliser un autre forage pour alimenter l'usine avec une qualité d'eau conforme aux normes.

### **V. 2.1. Les démarches pratiques de la solution proposée :**

J'ai travaillé au sein de l'entreprise TIFIB pendant 7 ans dans le poste d'ingénieur en chimie, d'après ma petite expérience et les connaissances présentées dans cette étude, je peux proposer une solution dans l'objectif principal est protéger la chaudière de vapeur et augmenter leur durée de vie.

Avant de réaliser cette solution, on doit faire 2 choses nécessaires :

- Réaliser une maintenance parfaite pour reprendre le fonctionnement du dégazeur utilisé dans la bache.
- Remplacer les pompes doseuses par d'autres très efficaces avec une précision très élevées.

Après ces 2 tâches précédentes, on doit effectuer la solution technique qui se présente par les étapes suivantes :



1. Démarrer les 2 blocs d'osmose inversée pour mesurer la conductivité de tous les 80 modules constituant les blocs. Présenter les résultats obtenus dans un tableau pour déterminer le rendement du lavage qu'on le réalise dans l'étape suivante.
2. Faire un lavage pour les 2 blocs selon la meilleure méthode exécutée par les technologues spécialisés dans ce domaine de traitement des eaux.
3. Mesurer la conductivité pour les 80 modules d'osmoses après le lavage réalisé.
4. Classer les 80 modules en fonction des résultats obtenus de manière croissante, pour choisir les 40 meilleurs modules à faible conductivité.
5. Parmi les 40 meilleurs modules, 23 modules ayant une faible conductivité doivent être positionnés au 1<sup>er</sup> étage constituant le premier bloc pour assurer 50 % de production d'eau traitée avec une meilleure qualité.
6. On doit faire la même procédure pour les 11 modules choisis suivant le classement précédent, il faut les positionnés au 2<sup>ème</sup> étage pour traiter le concentrât du 1<sup>er</sup> étage en produisant 25 % du permeat.
7. Les 6 modules restant doivent être placés au 3<sup>ème</sup> étage pour la même opération de filtration pour assurer 10 % de production du permeat selon la conception du constructeur.

Le bloc d'osmose inverse est conçu pour un niveau de production allant jusqu'à 85 % et diminuer la quantité de concentrât dégagée vers l'évacuation.

#### **V. 2.2. Mode opératoire pour un cycle du lavage :**

Le cycle de lavage est déterminé sous la responsabilité du G, LANGLOIS chef service de traitement des eaux et K, BOUBAKER chef du laboratoire qui ont travaillés au sein de l'entreprise SONITEX dans les années quatre-vingt.

1. 1<sup>er</sup> lavage à basse pression (5 à 6 bar) avec un pH de 11 par un produit détergent, ce lavage à pour but d'éliminer les matières organiques :
  - Dissolution 18 kg de détergent dans un volume d'eau adoucie de 4 m<sup>3</sup> pour alimenter le bloc d'osmose inverse durant de lavage.
  - L'opération se fait pendant 1<sup>h</sup> à 2<sup>h</sup> avec un repos de (30 min).
  - Recommencer ce lavage une fois encore.
  - Rinçage avec l'eau adoucie pendant 30 min jusqu'à la disparition des traces de détergent.



2. 2<sup>ème</sup> lavage à basse pression (5 à 6 bar) et pH de (3 à 4) par l'acide citrique : pour éliminer les hydroxydes de fer et une partie des sels d'entartage :
  - Dissolution 25 kg d'acide citrique dans un volume d'eau adoucie de 6 m<sup>3</sup> pour alimenter le bloc d'osmose inverse durant cette opération.
  - Le lavage s'effectue pendant 1<sup>h</sup> à 2<sup>h</sup> avec un repos de (30 min).
  - Recommencer ce lavage une fois aussi.
  - Rinçage avec l'eau adoucie pendant 30 min pour objectif d'éliminer l'acide citrique.
  
3. 3<sup>ème</sup> lavage à basse pression (5 à 6 bar) dans un milieu de pH de (8 à 9) par l'EDTA pour éliminer les sels d'entartage :
  - Dissolution 17 kg de l'EDTA dans un volume d'eau adoucie de 5 m<sup>3</sup> pour l'exploiter dans ce lavage.
  - L'opération se déroule pendant 1<sup>h</sup> à 2<sup>h</sup> avec un repos de (30 min).
  - Recommencer ce lavage une seule fois.
  - Rinçage avec l'eau adoucie pendant 30 min pour débarrasser les traces l'EDTA.
  
4. 4<sup>ème</sup> lavage à basse pression (5 à 6 bar) dans un milieu de pH de (8 à 9) par LUTONAL M40 pour rendre les pores de la fibre constituant la membrane du module à l'état initial :
  - Mélanger 20 l de LUTONAL M40 dans un volume d'eau adoucie de 4 m<sup>3</sup> pour laver les modules d'osmose inverse.
  - La procédure se déroule pendant 1<sup>h</sup> à 2<sup>h</sup> avec un repos de (30 min).
  - Recommencer ce lavage une fois encore.
  - Rinçage avec l'eau adoucie pendant 30 min pour évacuer ce produit vers les canalisations de rejet et reprendre le pH à une valeur adéquate (6 à 7.5).
  
5. Démarrage du bloc d'osmose inverse à haute pression (23 bar) pour effectuer 2 opérations de production mais vers l'évacuation : chaque opération est réalisée pendant 2<sup>h</sup> avec un arrêt d'une heure entre elles.
  
6. Production normale à haute pression (23 bar) vers les bassins de stockage pour l'exploitation.

Avant de démarrer la production, on doit régler les dosages effectués :





- Les pompes doseuses du bloc doivent garantir le débit nécessaire pour atteindre les concentrations désirées par le constructeur :
  - Pompe doseuse de  $H_2SO_4$  doit répondre aux critères suivants :
    - ✓ Vitesse maximale de 25 l/h pour assurer un débit de 5 l/h.
    - ✓ Concentration de dosage est  $110 \text{ g/cm}^3$ .
  - Pompe doseuse de  $(NaPO_3)_6$  doit répondre aux critères suivants :
    - ✓ Vitesse maximale de 120 l/h pour assurer un débit de 45 l/h.
    - ✓ Concentration de dosage est  $10 \text{ g/cm}^3$ .
- Les pompes doseuses dans la chaufferie doivent atteindre le débit nécessaire pour doser la bache et la chaudière avec des concentrations conformes aux normes :
  - Pompe doseuse de  $Na_2SO_3$  doit être efficace pour son objective :
    - ✓ Vitesse maximale de 20 l/h pour assurer un débit de 8 l/h.
    - ✓ Concentration de dosage entre  $10 - 30 \text{ g/cm}^3$ .
  - Pompe doseuse de  $Na_3PO_4$  doit être performante pendant le dosage :
    - ✓ Vitesse maximale de 45 l/h pour assurer un débit de 20 l/h.
    - ✓ Concentration de dosage entre  $9 - 35 \text{ g/cm}^3$ .

### V. 2.3. Estimation du rendement de la solution proposée :

Le suivi à long terme des analyses permet de construire un précieux historique des membranes depuis le début de leur utilisation (base de données). Cet historique peut servir à estimer le rendement du lavage et à prédire la performance pour chaque module d'osmose inverse. Suivant le 1<sup>er</sup> lavage effectué en 1985, on peut déduire la capacité de filtration pour le bloc d'osmose inversé après ce traitement qui se présente dans le tableau ci-dessous : la conductivité d'eau brute est mentionnée dans le tableau n°9, (CE= 7481  $\mu\text{S/cm}$ ).

**Tableau V.1 :** La conductivité du bloc n°1: (Laboratoire de traitement des eaux, Registre des analyses – SONITEX, juin 1985)

Bloc n°1	La conductivité CE ( $\mu\text{S/cm}$ )
Avant lavage	686
Après lavage	217



Par la comparaison entre ce tableau et le tableau IV.5, on peut donner une valeur approximative de la conductivité acquise du 1<sup>er</sup> bloc si on réalise un lavage qui respecte toutes les démarches citées dans la solution proposée. Après ce traitement appliqué, on peut arriver à une valeur de conductivité entre 350 à 450  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ce qui signifie une grande diminution dans toutes les concentrations des autres paramètres à analysés. Cette réduction nous a permis de :

- Réduire le nombre d'opérations de régénération appliquées à l'adoucisseur afin de baisser la consommation élevée de NaCl.
- Eviter les actions nocives des sels constituant l'eau adoucie sur la chaudière de vapeur concernant la corrosion et le tartre.
- Améliorer la protection de la chaudière par un dosage adapté au taux de sels et augmenter la durée de vie des machines utilisées dans la production générale.



Au cours de ce travail, nous avons fixé comme objectif l'élaboration d'une solution de protection contre la corrosion et l'entartrage dans une chaudière industrielle. Afin de trouver un système convenable et adapté avec les moyens disponibles dans cette entreprise, on a étudié l'influence du traitement des eaux par les différentes qualités exploitées dans la production du vapeur pour diminuer les nombres de pannes et augmenter le niveau de sécurité de la chaudière.

Pour des raisons économiques et financières, nous avons proposé notre solution pour réduire les charges de la production et améliorer la qualité des marchandises avec l'augmentation des bénéfices pour les entreprises spécialisées dans ce genre d'industrie.

La rigueur du personnel et la discipline dans les ateliers de l'annexe ce qui concerne la station du traitement des eaux et la chaufferie joue un rôle indispensable dans le but d'augmenter la durée de vie de tous les équipements existés dans la chaîne de production.

Enfin, nous espérons que le contenu de ce modeste travail servira comme guide initiatif pour les technologues qui vont exploiter les chaudières de vapeur et une référence bibliographiques pour les étudiants spécialisés en génie des procédés de l'environnement en ce qui concerne le traitement des eaux.



- [1]: BET SNERI, FAMATEX : Cahier de charge ; 1976.
- [2]: TEXALG, TIFIB : Convention collective, organigramme, 2011.
- [3]: M. Dizier : Les chaudières, tome B1 – TECHNIQUES DE L'INGENIEUR ; 1984.
- [4]: N. Frank / Kemmer : Manuel de l'eau – édition NALCO ; 1983.
- [5]: Service programmation : Rapport du calcul technologique – S/D technique ; 2011.
- [6]: F. Berné / J. Cordonnier : Traitement des eaux – édition TECHNIP ; 1991.
- [7]: Ingénieur d'étude : Rapport d'approvisionnement réf° 31 – D/de production et maintenance ; 2013.
- [8]: Dr. Emile, A. Sanya : Exploitation de l'énergie thermique ; 2002-2003.
- [9]: Viessmann – Brochure technique : Les chaudières à vapeur ; 2011.
- [10]: Degremont : Mémento technique de l'eau, tome 1 et 2 – 9<sup>ème</sup> édition LAVOISIER, Paris ; 1989.
- [11]: R. Salghi : Différents filières de traitement des eaux – ENSA, Agadir ; 2010.
- [12]: J. Jacques : Les eaux souterraines, connaissance et gestion – édition BRGM ; 2004.
- [13]: E. Riboni: Purification de l'eau dans l'industrie – CHEZARD, Saint-Martin, Suisse ; 2008.
- [14]: A. Bourgogne : Technologies propres et eau dans l'industrie – monographie ; juin2004.
- [15]: L. Chay : Etude comparative des membranes – ENGREF, SNIDE ; mars 2005.
- [16]: P. Ravarini : Le traitement des eaux de consommation – l'ENGREF, Montpellier ; 1999.
- [17]: J. Mayet : La pratique de l'eau – doc L'OIEAU, Paris ; 1994.
- [18]: B. Gaston / A. Allerd : L'osmose inverse – ACER, Québec ; février 1984.
- [19]: J. Rodier, L. Bernard, M. Nicole : Analyse de l'eau – 9<sup>ème</sup> édition DUNOD, Paris ; 2009.
- [20] : J. Triolet, J. Capois : La conception des laboratoires de chimie – INRS ; 2002.
- [21]: F. Rejesk: Analyse des eaux, Aspects réglementaires et techniques ; 2002.



- [22]: A. Sophie, S Clède, et d'autres collaborateurs : Techniques expérimentales en chimie – DUNOD, Paris ; 2012.
- [23]: G. Béranger, H. Mazille : Mécanique et ingénierie des matériaux corrosion et anticorrosion, pratique industrielle ; 2002.
- [24]: Hach Company: Méthodes d'analyses – Hach/DR 2010; 1996 – 2000.
- [25]: Vereinigte Kessel werke düsseldorf: Guide d'exploitation d'une station du traitement des eaux – VKW; 1982.
- [26]: [www.iso.org](http://www.iso.org)
- [27]: <https://www.lenntech.fr/applications/process/chaudiere/chaudiere/entartrage.htm>, (06/06/2020)



## **Résumé:**

La chaudière est un dispositif permettant de chauffer l'eau et de produire la vapeur nécessaire au fonctionnement des procédés. Lors de sa production, la chaudière est exposée à des problèmes de corrosion et à des dépôts de tartre au niveau ses composants tels que les tubes de fumées. Afin d'éliminer les causes de ces problèmes, réduire le risque des accidents et minimiser les pertes économiques, les technologues doivent assurer un traitement de l'eau d'alimentation pour arriver à une qualité conforme aux normes d'exploitation de la chaudière à tube de fumée, cette qualité doit être contrôlée par des analyses journaliers à l'aide de laboratoire physico – chimique qui donne un soutien technique efficace dans la protection optimale de cet équipement.

**Mots-clés:** Chaudière, corrosion, dépôts de tartre, les tubes de fumées, traitement de l'eau, normes d'exploitations, la protection.

## **Abstract:**

The boiler is a device for heating the water and produce steam necessary for the operation of the processes. During its production, the boiler is exposed to corrosion problems and scale deposits at its components such as flue tubes. To eliminate the causes of these problems, reduce the risk of accidents and minimize economic losses, technologists must ensure treatment of feed-water to achieve quality that meets operating standards of the flue tube boiler, this quality must be controlled by daily analyzes using a physic - chemical laboratory which gives efficient technical support in the optimal protection of this equipment.

**Keywords:** The boiler, corrosion, scale deposits, flue tubes, treatment of feed-water, operating standards, protection.

## **المخلص:**

الغلاية عبارة عن جهاز يستخدم لتسخين المياه وإنتاج البخار اللازم لتشغيل الآلات. أثناء الإنتاج، تتعرض الغلاية لمشاكل التآكل والرواسب الجيرية على مستوى مكوناتها مثل أنابيب الدخان. للقضاء على مسببات هذه المشاكل، تقليل خطر الحوادث والخفض من الخسائر الاقتصادية، يجب على التقنيين ضمان معالجة المياه المستخدمة لإنتاج البخار من أجل الوصول لجودة تلي معايير تشغيل الغلاية، يجب مراقبة نوعية هذه المياه من خلال التحاليل اليومية التي تتم في المختبر الفيزيوكيميائي و الذي بدوره يوفر الدعم الفني الفعال في الحماية القصوى لهذا الجهاز.

**الكلمات المفتاحية:** الغلاية - التآكل - الرواسب الجيرية - أنابيب الدخان - معالجة مياه - معايير تشغيل الغلاية - الحماية