



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université M'hamed Bougara Boumerdes

Faculté de technologie

Département de Génie de l'Environnement



# Mémoire fin d'étude

Option : Génie de l'environnement

Présenté par

BOUDEHANE Diaa eldine

## Thème

Suivi de la qualité de l'eau destinée à  
l'alimentation de chaudière d'une papeterie

Jury	Grade	Affiliation	Qualité
M. AMITOCHE	MCA	UMBB, Boumerdes	Président
F. BOUMECHHOUR	MCA	UMBB, Boumerdes	Rapporteur
H. BALLOUL	MCA	UMBB, Boumerdes	Examineur

# REMERCIEMENT

*Je remercie tout d'abord Dieu le tout puissant de m'avoir donnée la foi, la volonté et le courage afin d'arriver à faire ce modeste travail.*

*Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à ma directrice de mémoire, Madame Boumechhour. Je la remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé, et tous l'ensemble des professeurs du département de génie des procédés à la faculté de la technologie.*

*Je remercie mes très chers parents, qui ont toujours été là pour moi. Je remercie ma sœur et mes frères, pour leurs encouragements.*

*Je désire aussi remercier mon oncle qui m'a aidé et conseillé à choisir cette spécialité.*

*Enfin, je tiens à témoigner toute ma gratitude aux ingénieurs qui m'ont aidé et soutenu tout long la période de mon stage pratique.*

---

# RESUME

Dans l'industrie, l'eau est nécessaire à de nombreux niveaux et est utilisée dans de nombreux secteurs et domaines d'activité, comme l'utilisation de l'eau pour les circuits de chauffage, de refroidissement, et pour la production de la vapeur à l'aide d'une chaudière. Pour alimenter une chaudière, il est nécessaire d'apporter une eau conforme aux normes d'eau de chaudière afin de produire une vapeur de bonne qualité.

L'objectif de ce présent travail est de mener une étude diagnostique sur l'eau destinée à l'alimentation de la chaudière. A cet effet les paramètres physico-chimiques influençant sur la qualité de cette eau ont été évalués.

Ces différents paramètres ont été : la conductivité, le potentiel hydrogène (pH), la dureté totale (TH), le fer, la DEHA, le phosphate. Des échantillonnages ont été réalisés au cours du traitement qui consistait de passer de l'eau de forage, l'eau adoucie, l'eau de la bache d'alimentation, l'eau de chaudière et de condensat (l'eau de retour).

Les valeurs moyennes obtenues de la conductivité respectent tous la norme excepté celle de l'eau de la bache d'alimentations, dues à l'injection du produit chimique « amersite ». Les valeurs moyennes de potentiel hydrogène respectent tous la norme. Les valeurs de la dureté totale (TH) de l'eau de forage et de condensat sont conformes à la norme, d'autre par l'eau adoucie, l'eau de la bache d'alimentation et l'eau de chaudière ne sont pas conforme à la norme. Les valeurs de fer respectent la norme. La valeur de la DEHA au niveau de la bache d'alimentation ne conforme pas la norme et de l'eau de chaudière conforme la norme. Les taux de phosphate sont hors normes.

Au regard des résultats obtenus, je recommande la présence des sels pour une bonne régénération de l'adoucisseur, une purge manuelle chaque heure jusqu'à la diminution de la dureté de l'eau de chaudière. On recommande de remplacer quelques produits chimiques.

---

---

# Summary

In industry, water is needed at many levels and is used in many sectors and areas of activity, such as the use of water for heating circuits, cooling, and for the production of steam using a boiler. To supply a boiler, it is necessary to provide water that complies with boiler water standards in order to produce good quality steam.

The objective of this present work is to carry out a diagnostic study on the water intended for the supply of the boiler. To this end, the physic-chemical parameters influencing the quality of this water were evaluated.

These different parameters were: conductivity, hydrogen potential (pH), total hardness (TH), iron, DEHA, phosphate. Sampling was carried out during the treatment which consisted of passing borehole water, softened water, water from the feed tank, boiler water and condensate (return water).

The average conductivity values obtained all comply with the standard except for that of the water in the supply tank, due to the injection of the chemical "amersite". The average hydrogen potential values all comply with the standard. The values of the total hardness (TH) of the water of drilling and condensate are in conformity with the standard, on the other hand by the softened water, the water of the supply tank and the water of boiler are not up to standard. Iron values respect the nun. The DEHA value at the level of the supply tank does not comply with the standard and the boiler water complies with the standard. Phosphate levels are out of the ordinary.

In view of the results obtained, I recommend the presence of salts for a good regeneration of the softener, a manual purge every hour until the reduction of the hardness of the boiler water. It is recommended to replace some chemicals.

---

## ملخص

في الصناعة، هناك حاجة للمياه على مستويات عديدة، وتستخدم في العديد من القطاعات ومجالات النشاط، مثل استخدام المياه لدوائر التدفئة والتبريد وإنتاج البخار باستخدام ال غلاية. لتزويد غلاية، من الضروري توفير المياه التي تتوافق مع معايير مياه الغلايات من أجل إنتاج بخار جيد الجودة.

الهدف من هذا العمل الحالي هو إجراء دراسة تشخيصية للمياه المخصصة لتزويد ال غلاية. تحقيقا لهذه الغاية، تم تقييم العوامل الفيزيائية والكيميائية التي تؤثر على جودة هذه المياه.

هذه المعلمات المختلفة هي: الموصلية، جهد الهيدروجين (pH)، الصلابة الكلية (TH)، الحديد، DEHA، الفوسفات. تم أخذ العينات أثناء المعالجة والتي تتكون من مرور مياه البئر، المياه المخففة، المياه من خزان التغذية، ماء الغلاية والمكثفات (المياه المرتجعة).

تتوافق جميع قيم الموصلية المتوسطة التي تم الحصول عليها مع المعيار باستثناء تلك الخاصة بالمياه في خزان الإمداد، بسبب حقن مادة "الأمريت" الكيميائية. تتوافق جميع قيم إمكانات الهيدروجين المتوسطة مع المعيار. تتوافق قيم الصلابة الكلية (TH) لمياه الحفر والمكثفات مع المعيار، وإلا فإن المياه المخففة وماء خزان الإمداد وماء الغلاية لا ترقى إلى المستوى القياسي. قيم الحديد تحترم المعيار. قيمة DEHA في خزان التغذية لا تتوافق مع المعيار وماء الغلاية يتوافق مع المعيار. مستويات الفوسفات خارجة عن المألوف.

في ضوء النتائج التي تم الحصول عليها، أوصى بوجود أملاح من أجل تجديد جيد للملين، تطهير يدوي كل ساعة حتى يتم تقليل عسر ماء الغلاية. يوصى باستبدال بعض المواد الكيميائية.

# SOMMAIRE

<b>Liste des figures .....</b>	<b>1</b>
<b>Liste des tableaux.....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>3</b>
<b>CHAPITRE I : Présentation de l'unité APM (African Paper Mills).....</b>	<b>1</b>
1.1.À propos d'APM.....	1
1.2.Présentation de la ligne industrielle (1).....	3
<b>CHAPITRE II : Généralités sur l'eau.....</b>	<b>8</b>
2.1.Les eaux industrielles .....	8
2.1.1.Les Grandes catégories d'usages de l'eau (3).....	9
2.1.2.L'utilisation de l'eau par l'industrie papetière.....	10
2.1.3.Importance de l'eau dans la fabrication du papier.....	10
2.2.Les propriétés physiques et chimiques de l'eau (5).....	11
2.2.1.Les propriétés thermiques .....	13
2.2.2.Les propriétés électriques.....	13
2.3.Unités utilisées en analyse des eaux.....	15
2.4.Les paramètres globaux de la qualité des eaux.....	15
<b>CHAPITRE III :Chaudière.....</b>	<b>20</b>
3.1.Généralités sur les chaudières.....	20
3.1.1.Historique des chaudières.....	20
3.1.2.Caractéristique des eaux de chaudières .....	22
3.2.Usage général de la chaudière dans l'industrie papetière .....	24
3.3.Principaux inconvénients provoqués par les impuretés de l'eau (9) .....	25

---

3.3.1. La corrosion .....	25
3.3.2. Le primage .....	26
3.3.3. Le tartrage .....	26
3.4. Les principales étapes de traitement de l'eau à l'unité.....	26
3.4.1. La désinfection.....	26
3.4.2. L'adoucissement .....	27
3.4.3. Bâche d'alimentation.....	30
3.4.4. Traitement de chaudière par purge .....	32
3.4.5. Traitement de l'eau de chaudière par des produits chimiques (8) .....	32
3.4.6. Le condensat .....	33
3.5. Système d'alimentation de la chaudière de l'unité.....	35
<b>CHAPITRE IV : Méthode et procédures expérimentales.....</b>	<b>37</b>
4.1. Point de prélèvement .....	37
4.2. Matériels.....	37
4.3. Méthode et procédure expérimentale d'analyse des paramètres physico-chimique .....	44
4.3.1. La conductivité.....	44
4.3.2. Le potentiel Hydrogène (pH) .....	44
4.3.3. La dureté TH (14) .....	45
4.3.4. Le Fer ( $Fe^{2+}$ ) (15).....	47
4.3.5. Réducteurs d'oxygène DEHA (15) .....	49
4.3.6. Phosphate $PO_4$ (15) .....	50
<b>CHAPITRE V : Résultats et discussions.....</b>	<b>54</b>
5.1. Résultats journaliers de chaque type d'eau .....	54
5.2. Résultats de valeur moyenne paramètres du différent type d'eau.....	60
5.2.1. Résultat de la conductivité .....	60
5.2.2. Résultats des pH.....	61
5.2.3. Résultats de la dureté totale (TH) .....	62

---

---

5.2.4.Résultats du Fer .....	63
5.2.5.Résultats de la DEHA.....	64
5.2.6.Résultats du taux de Phosphate.....	65
<b>6.Conclusion .....</b>	<b>66</b>
<b>7.Référence Bibliographique .....</b>	<b>68</b>
<b>8.Annexes.....</b>	<b>69</b>
8.1.Annexe : certain équipement de l'unité .....	70

---



## Liste des figures

FIGURE 1 : SCHEMA REPRESENTANT LA LIGNE INDUSTRIELLE 1 (CREATION DU STOCK) .....	4
FIGURE 2 : SHEMA REPRESENTANT LA LIGNE INDUSTRIELLE 2 (CREATION DU PAPIER) .....	6
FIGURE 3 : LES MOLECULES D'EAU A L'ETAT GAZEUX, LIQUIDE ET SOLIDE .....	11
FIGURE 4 : LES FORCES D'ATTRACTION APPLIQUEES A LA SURFACE D'UNE GOUTTE D'EAU .....	12
FIGURE 5 : L'EOLIPILE D'HERON .....	19
FIGURE 6 : REACTION DE COMBUSTION .....	21
FIGURE 7 : REACTION DE LA REGENERATION .....	26
FIGURE 8 : SYSTEME ADOUCISSEMENT .....	27
FIGURE 9 : LE SYSTEME D'ALIMENTATION DE LA CHAUDIERE .....	32
FIGURE 10 : PL-700AL PH METRE / CONDUCTIMETRE .....	35
FIGURE 11 : TITRIMETRE DIGITALE HACH 16900 .....	36
FIGURE 12 : CARTOUCHE DE DOSAGE .....	37
FIGURE 13 : INSTRUMENT .....	38
FIGURE 14 : ORIENTATION DE LA CUVE A ECHANTILLON .....	39
FIGURE 15 : INSTALLATION DE LA CUVE A ECHANTILLON ET DU CAPUCHON D'INSTRUMENT .....	39
FIGURE 16 : DESCRIPTION DU CLAVIER .....	40
FIGURE 17 : AFFICHAGE SUR ECRAN UNIQUE .....	40
FIGURE 18 : STRUCTURE CHIQUE DE LA DEHA .....	45
FIGURE 19 : RESULTATS DE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE EN $\mu\text{S}/\text{CM}$ .....	56
FIGURE 20 : RESULTATS DES PH DES EAUX ANALYSEES .....	57
FIGURE 21 : RESULTATS D'EVOLUTION DU TH EN PPM .....	58
FIGURE 22 : RESULTATS DU FER EN PPM .....	59
FIGURE 23 : RESULTATS DE LA DEHA EN PPB .....	60
FIGURE 24 : RESULTATS DU PHOSPHATE EN PPM .....	61
FIGURE 25 : L'INTERIEUR DE SECHOIR YANKEE .....	66
FIGURE 26 : CHAUDIÈRE DE L'UNITÉ .....	66

---

## Liste des tableaux

TABLEAU 1 : PRODUITS FABRIQUEES .....	1
TABLEAU 2 : CARACTERISTIQUES DE LA MACHINE .....	2
TABLEAU 3 : SOLUBILITE DES GAZ SOUS UNE PRESSION DE GAZ PUR DE 1 BAR .....	14
TABLEAU 4 : DETERMINATION DE LA MINERALISATION EN MG/L = $C_{25}$ X COEFFICIENT .....	16
TABLEAU 5 : TRAITEMENT DE CHAUDIERE CHIMIQUE.....	30
TABLEAU 6 : VOLUME D'ECHANTILLON ET MULTIPLICATION DE CHIFFRES - MG/L (14) .....	43
TABLEAU 7 : NORME DES PARAMETRES DU DIFFERENT TYPE D'EAU (16).....	50
TABLEAU 8 : RESULTATS D'ANALYSE D'EAU DE FORAGE .....	51
TABLEAU 9 : RESULTAT D'ANALYSE DE L'EAU ADOUCIE.....	52
TABLEAU 10 : RESULTATS D'ANALYSE DE L'EAU DE LA BACHE D'ALIMENTATION.....	53
TABLEAU 11 : RESULTATS DE L'EAU DE CHAUDIERE.....	54
TABLEAU 12 : RESULTATS D'ANALYSE DU CONDENSAT (L'EAU DE RETOUR) .....	55

---

# INTRODUCTION

L'eau est une ressource essentielle à la vie humaine. Elle est utilisée pour l'usage quotidien, l'agriculture, les boissons, l'hygiène et l'industrie.

Dans le cadre de mon travail j'ai effectué un stage à l'unité APM « Africaine paper mills » qui produit du papier sanitaire.

L'objectif général de notre étude est de contribuer à l'analyse diagnostique de l'eau de chaudière dans le but de produire une eau présentant les caractéristiques conforme aux normes de l'eau de chaudière afin de produire une bonne qualité de la vapeur. Les objectifs spécifiques sont d'analyser les paramètres physico-chimiques qui influencent le traitement, neutraliser ces éléments perturbateurs et vérifier la conformité des valeurs des paramètres analysés avec les consignes de production.

Ce travail se compose de cinq chapitres :

- Présentation de l'unité APM
  - Généralité sur l'eau
  - Chaudière
  - Partie expérimentale
  - Résultats et discussions
-

# Chapitre I

# 1. Présentation de l'unité APM (Africain Paper Mills)

## 1.1. À propos d'APM

APM est un nouveau leader, les produits de cette industrie sont fabriqués selon les normes mondiales et sont les plus populaires auprès des convertisseurs régionaux et internationaux. Cette unité est basée sur la fabrication des rouleaux de papier de différentes qualités tels que des serviettes de table, des essuie-tout, des essuie-mains, du papier de soie et du papier toilette. L'engagement de direction envers la qualité est évident dans de nombreuses certifications préparées, notamment ISO 9001, ISO 14001 et OHSAS 18001. Les produits de moulins sont certifiés FSC (Forest Stewardship Council) et sont activement commercialisés en Algérie et dans les environs.

### 1. Produit fabriqué

La qualité de tous les tissus d'Africain Paper Mills est conforme à la recommandation allemande ISEGA (étude de l'industrie et entreprise d'élimination) sur l'évaluation sanitaire des matériaux qui entrent en contact avec les aliments. Et nos mouchoirs en papier ont passé des examens dermatologiques, qui sont classés comme inoffensifs en termes d'irritation cutanée potentielle. Le tableau 1 résume les produits fabriqués.

Tableau 1 : Produits fabriqués

Grade	Diamètre de bobine	Restriction de largeur	Fibre
Papier facial	70 – 180 cm	Libre	Vierge
Papier toilette	70 – 180 cm	Libre	Virgin
Torchons de cuisine	70 – 180 cm	Libre	Virgin
Serviette de table	70 – 180 cm	Libre	Virgin

## 2. Le développement durable

1. A APM La durabilité et les procédures respectueuses de l'environnement sont suivies sans nuire à l'environnement.
2. APM soutient la foresterie durable dans l'approvisionnement en matières premières.
3. APM s'engage à l'amélioration continue dans chaque phase de ses opérations.
4. Avant toute nouvelle entreprise, APM prend en considération les facteurs affectant l'économie, les employés et l'environnement, y compris l'eau et l'électricité.
5. L'équipe d'APM concentrons toujours sur des conditions de travail sûres et saines pour nos employés.

## 3. Spécification de la machine de l'unité

ANDRITZ ligne principale compacte.

*Tableau 2 : Caractéristiques de la machine*

Caractéristiques	TM1 (Tissu machine)
Gramme de poids de base	13 – 40 g/m <sup>2</sup>
Largeur de coupe de la machine	285 cm
Largeur de l'enrouleur	18 cm à 280 cm
Diamètre du rouleau	70 cm à 180 cm
Diamètre du noyau	76 / 152 mm
Nombre de plie	1, 2, 3
Grade	Papier facial, Papier toilette, Torchons de cuisine, Serviette de table

## 1.2. Présentation de la ligne industrielle (1)

### 1.Création du stock

La pulpe est dissoute avec de l'eau. Les fibres de la pâte peuvent être soit fraîches, soit dérivées de papier recyclé. Les fibres proviennent généralement du bois, bien qu'elles puissent également provenir, par ex. résidus de paille ou de canne à sucre. Lorsque la pâte entre dans la machine, elle comprend plus de 99 % d'eau et moins de 1 % de fibres.

Le but de la préparation des stocks est de traiter les fibres entrantes et de les rendre adaptées à la fabrication de papier.

### 2.Système d'alimentation du pulper

La pâte est normalement reçue à l'usine en balles. Les fibres de la pâte sont normalement classées comme suit : Fibres vierges (de grumes). Il existe deux type de fibres, les fibres longues et les fibres courtes.

Les balles avec des fibres sont transportées vers un dissolvant de pulpe, où la pulpe est dissoute. De là, il est pompé vers une tour de stockage... ..et nettoyé dans un nettoyeur... et raffiné en différentes étapes, en fonction des caractéristiques souhaitées du tissu final avant qu'il n'atteigne la phase de dépistage. Enfin, les fibres sont traitées et envoyées à la machine à tissu.

- Le schéma suivant représente la ligne de la préparation du stocke :

Comme première étape de préparation du stocke, pétrir les fibres longues et remplir le coffre des fibres longues, la même chausse pour les fibres courtes, sauf que les fibre courtes sont mélanger avec les fibres cassées (comme le montre le schéma). Après ça les fibres sont passées aux contrôleurs du débit, après quoi elles sont nettoyées à l'aide d'un nettoyant haute densité. Les fibres longues sont raffinées deux fois par le raffineur 1 et 2, les fibres courtes et le fibres cassées sont raffinées par le défroqueur. Le coffre de couche de fil est rempli par le « 4 chemins 1 » et le coffre de couche de feutre est rempli par le « 4 chemins 2 » ensuite, les fibres sont passées à ligne de dilution jusqu'à ce qu'elle soit réduite à 1% dans l'eau.

### 3. La caisse de tête (Head box)

Les fibres sont pulvérisées dans la machine et réparties uniformément sur la largeur de la machine dans l'espace entre deux rouleaux. Sur un rouleau il y a un fil (tissu de tamis) et sur l'autre un feutre. Le futur papier se fixe sur le feutre et le suit dans la machine. Le feutre est fait de textile épais et absorbe une partie de l'eau.

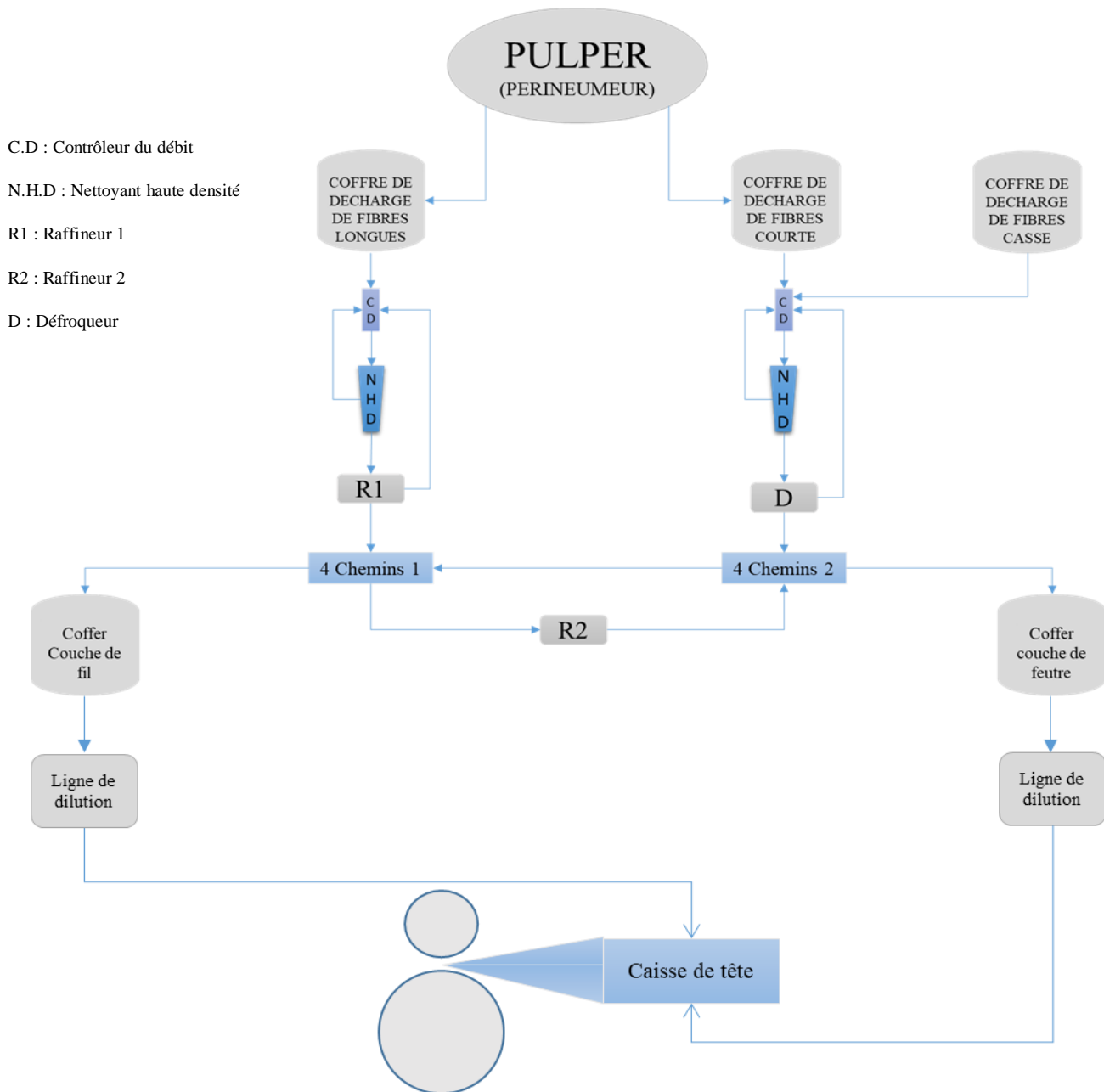


Figure 1 : Schéma représentant la ligne industrielle 1 (création du stock)



#### **4.Pressage - Rouleau de pressage**

Ici, la bande de papier est pressée entre un rouleau de presse à aspiration et le grand sécheur Yankee. Le rouleau de la presse aspirante est perforé et, avec le feutre, élimine l'eau de la bande de papier.

#### **5.Cylindre sécheur (Yankee)**

Le cylindre est chauffé à la vapeur sous pression et la bande de papier se fixe à la surface chaude du cylindre sécheur. L'eau est maintenant évaporée de la bande de papier.

**Les séchoirs Yankee :** sont l'une des parties les plus importantes des machines à papier. Ce récipient sous pression sert de base pour le crêpage, le pressage et le séchage des feuilles de papier. En raison de son importance dans la production de papier tissu, les usines doivent entretenir régulièrement les sécheurs Yankee pour maintenir une capacité de fonctionnement élevée et garantir la meilleure qualité. Avec un sécheur Yankee, le papier sèche d'environ 40 % à plus de 95 % et est raclé dans la zone de transfert des feuilles. En ce qui concerne la qualité du papier, de nombreux paramètres dépendent des performances du sécheur Yankee, tels que le niveau de séchage, le profil du niveau de séchage et la qualité de la feuille. Pour minimiser les temps d'arrêt dus à la dégradation des performances du sécheur Yankee, il est important que le personnel de l'usine surveille attentivement l'état de fonctionnement du sécheur Yankee.

**Hotte (Hood) :** Dans le séchoir, de l'air chauffé est soufflé sur la bande de papier pour augmenter le séchage. L'air du séchoir est normalement chauffé par des brûleurs à gaz.

**Crêpage :** La structure crêpée du papier tissu est obtenue lorsque la bande de papier est raclée du cylindre sécheur à l'aide d'une lame en acier.

#### **6.Rouler**

Le papier de soie fini est enroulé sur de grandes bobines. Le papier est maintenant prêt à être traité dans d'autres machines, pour finalement être transformé en rouleaux de papier toilette, essuie-tout, mouchoirs en papier ou essuie-tout.

- Schéma représente la deuxième ligne industrielle : création du papier

Cette ligne industrielle dépend de nous donner le dernier produit, qui est le papier.

Lorsque les fibres atteignent la dilution nécessaire elle s'appelle la recette. La caisse de tête va injecter la recette entre la couche de fil et la couche de feutre, les fibres vont coller sur la couche de feutre jusqu'à que les fibres atteignent le point entre le rouleau de pressage et le séchoir yankee, dans ce cas-là la bande du papier va commencer à sécher (comme défini précédemment), lorsque la bande du papier sur la surface du séchoir complètement sec, elle est retirée par la lame du crêpage ensuite elle va se coller sur axe tournant à l'aide d'un opérateur. Au finale, on obtient une bobine géante.

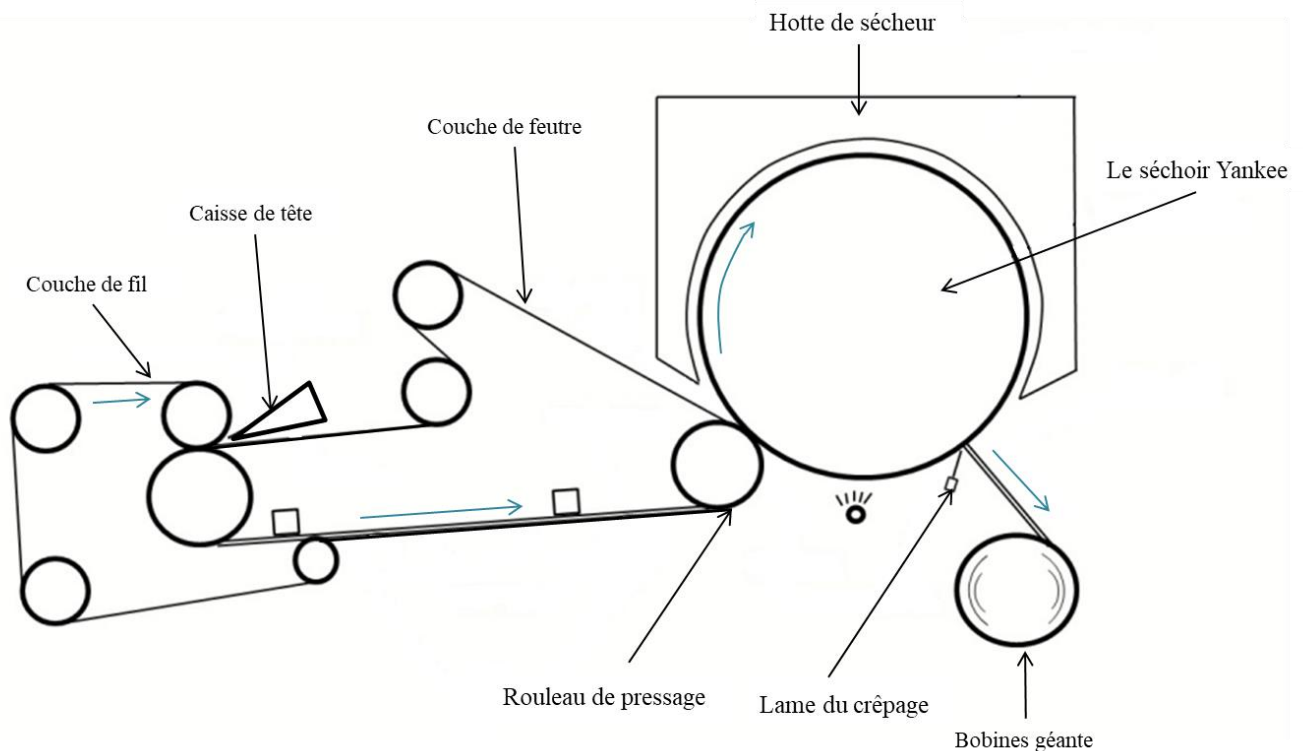


Figure 2 : Shéma représentant la ligne industrielle 2 (création du papier)

# Chapitre II

## 2. Généralités sur l'eau

L'eau est une substance très importante et est en fait le composant principal du corps humain. Mais qu'est-ce que l'eau exactement ? À l'intérieur du corps humain, il y a des squelettes qui peuvent renforcer le corps et se tenir debout sans s'effondrer. Est un constituant essentiel de tous les organismes vivants et est le milieu à partir duquel la vie a évolué et dans lequel la vie existe. L'eau est aussi une sorte de squelette. Elle est composée de petites particules, des atomes, comme toute autre matière sur Terre. L'un de ces atomes s'appelle l'hydrogène et l'autre s'appelle l'oxygène. Comme vous le savez peut-être, l'air que nous respirons contient également de l'oxygène. Les particules d'eau sont appelées molécules. Lorsque de nombreuses molécules d'eau sont rassemblées, vous pouvez voir et boire de l'eau ou l'utiliser pour le nettoyage, par exemple. L'eau douce est inégalement répartie sur terre ce qui engendre de sérieux problèmes entre les pays et des conflits surviennent souvent sur le problème d'approvisionnement en eau.

C'est plus comme l'air, l'eau nous est un corps très familier, et son existence est si abondante qu'elle semble être la plus commune pour nous.

### 2.1. Les eaux industrielles

L'eau industrielle se réfère à l'eau utilisée à des fins industrielles contrairement à l'eau domestique et à l'eau agricole.

L'eau est utilisée dans l'industrie pour le traitement, mais également pour la fabrication et le lavage. La production d'énergie primaire et la production d'énergie considérées sur environ 10% de la contrainte d'eau dans l'eau et environ 3 à environ 10% de la consommation totale d'eau. Les secteurs de l'énergie, y compris la production d'électricité et la production d'énergie primaire, sont souvent inclus dans l'analyse de l'utilisation de l'eau aux côtés du secteur industriel. En tant que gros utilisateur et consommateur, il peut également être compté séparément. L'eau pour les turbines des centrales hydroélectriques n'est jamais prise en compte.  
(2)

#### 2.1.1. Les Grandes catégories d'usages de l'eau (3)

L'industrie recouvre une gamme d'utilisations de l'eau extrêmement variables, tant en quantité qu'en qualité.

La présence d'une ressource en eau abondante et de bonne qualité est souvent un facteur d'implantation d'industries près des cours d'eau. L'eau possède des propriétés physico-chimiques particulières et peut ainsi être utilisée pour réaliser de nombreuses opérations : le lavage d'objets, de récipients, de canalisations, de sols d'ateliers, le chauffage ou le refroidissement d'objets, la réalisation de réactions chimiques en milieu aqueux, le transport d'objets par canalisations...

Cette consommation d'eau varie selon les pays et les secteurs d'activité : toute l'eau utilisée par l'industrie n'est pas forcément consommée, elle peut parfois être rejetée dans le milieu après avoir servi. Les industries de transformation sont les plus gourmandes en eau. La qualité requise pour l'eau industrielle dépend de l'activité : les industries agroalimentaires (IAA) ont besoin d'eau potable ; les industries électronique, médicale et biotechnologique requièrent une eau ultra pure.

En 2014, la consommation industrielle d'eau représentait environ 20 % de la consommation mondiale, soit un volume d'eau prélevée dans le monde de 800 km<sup>3</sup>. D'après l'étude Mc Kinsey « Charting Our water future » parue en novembre 2009, ce chiffre devrait passer à 1 500 km<sup>3</sup> en 2030.

L'utilisation de l'eau à des fins industrielles augmente également en fonction des revenus des pays. De 10 % dans les pays à faible revenu, elle passe à près de 60 % dans les pays à revenu élevé.

Par ailleurs, les exigences croissantes en matière de protection des ressources et de l'environnement (normes de rejet, taxes...) se conjuguent pour imposer aux industriels une gestion toujours plus rigoureuse de leur eau qui implique de plus en plus souvent des utilisations en cascade et/ou des systèmes de recyclage ou de réutilisation, soit internes à un atelier, soit au niveau de tout un site industriel. Ceci explique les très grandes variations des prélèvements d'eau notés d'un site à l'autre. (4)

Dans l'industrie, l'eau est nécessaire à plusieurs niveaux et est utilisée dans de nombreux secteurs et domaines d'activité, principalement dans l'industrie lourde, comme eau pour les circuits de chauffage et de refroidissement. L'eau de refroidissement est souvent associée à d'autres usages. Par exemple, dans la chaîne de production de l'industrie pétrolière, elle est utilisée sur site pour maintenir la pression des équipements. L'industrie utilise l'eau :

- Dans les circuits de refroidissement fluide thermique.

- Pour l'alimentation de chaudière.
- Pour les dilutions de produits chimiques.

### **2.1.2. L'utilisation de l'eau par l'industrie papetière**

L'eau est un élément essentiel dans la fabrication du papier et 95 à 98 % de l'eau de process est recyclée en interne. L'eau agit comme un liant entre les fibres et est utilisée comme solvant dans le processus de fabrication. Il est nécessaire pour le transport, le nettoyage, le transport d'énergie sous forme de vapeur et est utilisé dans les unités de refroidissement. En raison de la forte consommation d'eau de l'industrie du papier, l'objectif de l'industrie de la cellulose est de rechercher une plus grande efficacité environnementale et économique tout au long du processus de fabrication. (2)

### **2.1.3. Importance de l'eau dans la fabrication du papier**

La première opération de la fabrication du papier va consister à mettre les fibres de cellulose en suspension dans l'eau. L'eau joue des rôles multiples en papeterie :

- Au niveau hydraulique, c'est d'abord le milieu dans lequel les éléments fibreux et les charges peuvent se disperser en éléments individuels.
- C'est ensuite le véhicule des matières premières tout au long des circuits de fabrication du papier.
- C'est un répartiteur des matières en suspension lorsque la pâte diluée arrive sur la toile de la machine à papier.

L'aspect, la constitution et les caractéristiques de la feuille dépendent des écoulements, depuis l'arrivée à la caisse de tête jusqu'à la consolidation de la feuille.

Du point de vue des propriétés physico-chimiques, les fibres sont très hydrophiles et les molécules d'eau se fixent en couches sur leurs surfaces. Il en résulte une modification de l'état physique des fibres qui conditionne les caractéristiques du papier, les fibres gonflent, elles deviennent plus souples. L'eau qui s'intercale entre les fibres permet de les maintenir en suspension et individualisées, jusqu'à la table de fabrication sur laquelle la feuille se forme : les fibres se positionnent de façon à donner des propriétés de résistance particulière au papier grâce à un effet hydraulique maîtrisé. L'eau est drainée tout au long de la table de fabrication permettant aux liaisons hydrogène entre les fibres de se reformer, puis la feuille est pressée et

séchée. L'humidité résiduelle du papier, qui est de l'ordre de 5 à 7 %, lui permet de ne pas être cassant. (2)

## 2.2. Les propriétés physiques et chimiques de l'eau (5)

L'eau est un composé incolore inodore constitué de molécules chaque molécule d'eau est formée d'un atome d'Oxygène et de deux atomes d'hydrogène que l'on représente par H<sub>2</sub>O. La structure de l'eau dépend de son état physique :

- L'état gazeux : (vapeur) correspond à la formule chimique de l'eau.
- L'état liquide et solide de l'eau : la structure tétraédrique est due à l'arrangement et l'association des molécules sous l'influence des liaisons intermoléculaires dites liaisons hydrogène.

La figure suivante représente les trois états dans lesquels l'eau se forme.

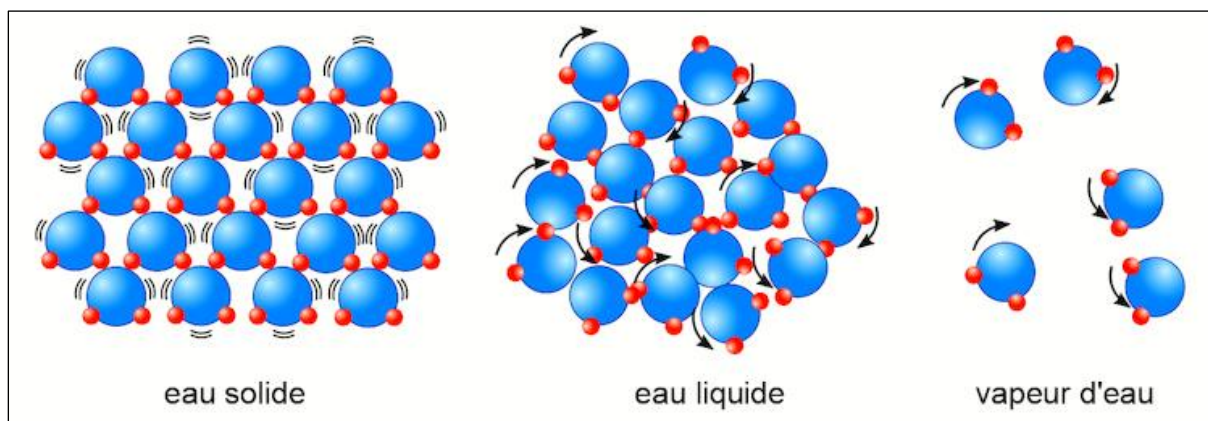


Figure 3 : les molécules d'eau à l'état gazeux, liquide et solide

### 1. La masse volumique : $\rho = m/V$ unité Kg/m<sup>3</sup>

Elle varie avec la température et la pression

- Conséquences naturelles : stratification des lacs
- Conséquences au niveau de la STEP : remontée des boues

## 2. La viscosité

Elle exprime la résistance du fluide à s'opposer aux divers mouvements soit internes de turbulence soit globaux (écoulement). On distingue deux types de viscosités :

- La viscosité dynamique ( $\mu$ ) donnée par le rapport de la contrainte tangentielle ( $\tau$ ) et le gradient de la vitesse ( $dv/dy$ ) perpendiculaire au plan de glissement.  

$$\mu(\text{Pa.s}) = \tau / (dv/dy) \text{ (I.2)}$$
- La viscosité cinématique ( $\nu$ ) définie par le rapport de la viscosité dynamique ( $\mu$ ) à la masse volumique  $\rho$  de fluide  $\nu \text{ (m}^2\text{.s}^{-1}\text{)} = \mu(\text{Pa.s}) / \rho \text{ (Kg.m}^{-3}\text{)}$ .

La viscosité diminue lorsque la température augmente (voir tableau) et elle augmente avec la teneur en sels dissous ; l'eau de mer est plus visqueuse que l'eau de la rivière.

## 3. Tension superficielle

Elle caractérise les propriétés des interfaces. C'est la force de traction qui s'exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendu de cette surface.



Figure 4 : les forces d'attraction appliquées à la surface d'une goutte d'eau

### 2.2.1. Les propriétés thermiques

- La chaleur massique de l'eau appelée aussi capacité thermique à 20°C est de 4.18 KJ/Kg.C.

30°C  $\longrightarrow$  4.1784 KJ/Kg.C un minimum

100°C  $\longrightarrow$  4.2159 KJ/ Kg.C

L'importance de cette propriété thermique fait que l'eau est utilisée comme fluide caloporteur.



### 2.2.2. Les propriétés électriques

- La constante diélectrique ( $\epsilon$ ) ou permittivité d'un matériau est liée à la polarisabilité électrique des molécules ou atomes constituant le matériau. Pour l'eau la valeur étant de  $80 \text{ F.m}^{-1}$ .
- La conductivité électrique et la résistivité de l'eau augmente avec la concentration des sels dissous varie en fonction de la température l'eau est légèrement conductrice.
- La conductivité de l'eau croît avec la minéralisation et la température.

Unité de mesure de :

- La conductivité : Siemens / cm ou  $\mu\text{S} / \text{cm}$
- La résistivité : ohm.cm

### 2.2.3. Les propriétés optiques

La transparence de l'eau dépend de la longueur d'onde qui la traverse. L'eau absorbe bien l'UV mais l'IR pénètre à peine l'orange et le rouge sont fortement absorbé d'où la couleur bleue transmise en couche épaisse (océans et mers).

#### 1.Les propriétés chimiques de la molécule d'eau

- L'enthalpie de formation de la molécule d'eau  $242 \text{ KJ.mol}^{-1}$  élevée
- Une forte Polarité  $\mu= 1.84 \text{ D}$
- Une constante diélectrique  $\epsilon = 80 \text{ F.m}^{-1}$

Toutes ces propriétés chimiques favorisent sa grande stabilité et son aptitude à dissoudre la majorité des substances minérales.

#### 2.Solubilité des substances chimiques dans l'eau

Solubilité des gaz : Les molécules fortement polaires ( $\text{CO}_2$  ;  $\text{H}_2\text{S}$ ) sont plus solubles que les autres gaz.

Tableau 3 : solubilité des gaz sous une pression de gaz pur de 1 bar

Gaz	Solubilité à 10°C en mg. L <sup>-1</sup>
N <sub>2</sub>	23.2
O <sub>2</sub>	54.3
CO <sub>2</sub>	2318
H <sub>2</sub> S	5112
CH <sub>4</sub>	32.5
H <sub>2</sub>	1.6

### ○ Solubilité des liquides

La solubilité d'un liquide dans l'eau dépend de sa polarité, les molécules qui comprennent des groupements fonctionnels (OH ; SH ; NH<sub>2</sub>) sont très polaires et donc très solubles dans l'eau d'autres liquides non polaires tels que les hydrocarbures le tétrachlorure de Carbone.

### ○ Solubilité des Solides

La solubilité augmente avec le pouvoir polarisant des ions tels que les sulfates de Mg et de Ca. La soude et le NaCl. La solvation des ions crée une organisation des molécules sur plusieurs couches par conséquent la structure des solutions est très différente de celle de l'eau pure.

## 2.3. Unités utilisées en analyse des eaux

### 1.Le Milliéquivalent gramme

Unité utilisée par les chimistes pour la concentration des ions : meq / L (milli-équivalent par litre), plus pratique que le mg/L, elle traduit la capacité des ions à se lier entre eux, elle permet par exemple de comparer la quantité de cations à la quantité d'anions.

Normalité ou 1 eq = masse molaire /valence

Exemple : valence du calcium Ca<sup>2+</sup> = 2 (libère 2 électrons), Masse molaire = 40 g/mol => 1 meq/L de Ca = 40/2 = 20 mg/L

### 2.Le Degré hydrotimétrique

De nombreux pays ont adopté des variantes dans la définition de la dureté.

- Le degré hydrotimétrique ou degré français (°H ou °F) représente la dureté d'une solution contenant 10 mg de carbonate de calcium au litre, soit 4 mg de calcium, c'est-à-dire 1/5 de milliéquivalent ou 0,1 mol/L. Inversement, 1 meq de Ca = 5 °H ou 5 °F

- Le degré hydrotimétrique allemand (°DH) représente la dureté d'une solution contenant 10 mg d'oxyde de calcium par litre.
- Le degré hydrotimétrique anglais (°Clark) représente la dureté d'une solution contenant un grain de carbonate de calcium par gallon impérial soit 14,3 mg /L.

## 2.4. Les paramètres globaux de la qualité des eaux

- Matières en solution
- Éléments majeurs, fondamentaux et caractéristiques
- Salinité ou minéralisation
- Duretés et titres hydrotimétriques
- Titres alcalimétriques et composition alcaline de l'eau
- Équilibre calcocarbonique et équilibres carboniques

### ➤ **Éléments physico chimiques majeurs prépondérants**

- Les cations prépondérants :  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ .
- Les Anions : les Chlorures  $\text{Cl}^-$ , les Nitrates  $\text{NO}_3^{2-}$ , Sulfates  $\text{SO}_4^{2-}$  ils correspondent à la somme des Acides Forts (SAF) en plus des ions  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$   $\text{HCO}_3^-$ .

Salinité totale d'une eau = cations + anions

### 1. Température et pH

Il est facile à mesurer et à modéliser les paramètres des masses d'eau, et est un paramètre indicateur des effets anthropiques locaux (dégagement de chaleur) ou d'échelle globale (effets de gaz à effet de serre) qui réagissent fortement aux écosystèmes aquatiques (animaux et végétaux).

- Physiquement : solubilité de l'oxygène
- Chimiquement & physiologiquement : cinétiques, métabolisme

### 2. Conductivité Electrique

La conductivité de l'eau croît avec la minéralisation et la température. En mesurant la conductivité ou la résistivité, et en utilisant des abaques, on peut déterminer la salinité ou la minéralisation totale d'une eau.

Unité de mesure de la conductivité : Siemens / cm ou  $\mu\text{S} / \text{cm}$

Unité de mesure de la résistivité : ohm.cm

### 3.Détermination de la minéralisation globale

Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité. Toute fois la minéralisation déterminée par pesée du Résidu Sec n'est pas rigoureusement identique à celle calculée à partir de la conductivité. En fait, le calcul de la minéralisation à partir de la conductivité ne permet pas d'avoir une valeur exacte.

On obtient une approximation de la teneur globale en sels dissous (Minéralisation) en utilisant le tableau 4.

*Tableau 4 : Détermination de la minéralisation en mg/l =  $C_{25}$  X coefficient*

Conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}^2$	Minéralisation en Mg/l
Conductivité inférieur à 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$	1.365079 x conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$
Conductivité comprise entre 50 et 166 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.947658 x conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$
Conductivité comprise entre 166 et 333 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.769574 x conductivités $\mu\text{S}/\text{cm}$
Conductivité comprise entre 333 et 833 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.715920 x conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$
Conductivité comprise entre 833 et 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.758544 x conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$
Conductivité supérieur à 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.850432 x conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$

### 4.Résidu Sec

Le Résidu sec correspond au poids de la totalité des matières dissoutes par litre d'eau. On l'obtient en évaporant l'eau après élimination des matières en suspension. Les étapes à suivre sont :

1. Pesée des capsules en aluminium qui sont numérotées au fur et à mesure.
2. Filtration rapide de l'eau non diluée sur filtres à plis. Le filtrat est recueilli dans des ballons Jaugés de 50 ml préalablement rincée à l'eau distillée. Ajustage des ballons au trait de Jauge.
3. On transvase alors chaque échantillon dans la capsule qui lui correspond en rinçant le ballon avec un peu d'eau distillée.
4. Les capsules sont placées à l'étuve pour une durée de 20 heures. La température doit être voisine de 110°. Il est conseillé d'entrouvrir l'étuve pendant les premières heures afin de faciliter le dégagement de vapeur d'eau.

5. Après 20 heures de séchage on procède à la pesée des capsules. Le résidu sec est très avide d'eau et fixe rapidement l'humidité de l'air. Par conséquent, il faut éviter tout séjour prolongé à l'air libre. On retire ainsi une vingtaine de capsules de l'étuve en les enfermant aussitôt dans un dessiccateur garni de desséchant frais. Elles seront pesées une à une et pour aller vite, on réglerà la balance sur le poids de la capsule vide avant de sortir l'échantillon du dessiccateur Afin d'avoir une série homogène de détermination on s'efforcera de respecter toujours les mêmes délais entre la sortie du dessiccateur et la lecture du poids.

### 5. Dureté ou titre hydrotimétrique (TH)

La dureté est encore appelée dureté calcique et magnésienne ou consommation de savon. Elle s'exprime en milliéquivalents de concentration en  $\text{CaCO}_3$ .

On distingue :

- La dureté totale ou titre hydrotimétrique TH qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne.
- La dureté calcique : exprime la teneur globale en sels de calcium.
- La dureté magnésienne : correspond à la teneur globale en sels de magnésium.
- La dureté carbonatée (TAC) : est la teneur en hydrogénocarbonate et carbonate de calcium et de magnésium.

**La dureté Totale :**  $\text{TH}_{\text{totale}} = \text{T}_{\text{Ca}} + \text{T}_{\text{Mg}}$

$$\text{T}_{\text{Ca}} = (C_{\text{massique}} / \text{masse molaire}) * z$$

$$\text{T}_{\text{Mg}} = (C_{\text{massique}} / \text{masse molaire}) * z$$

**6. Le titre alcalimétrique :** correspond aux alcalis libres et aux carbonates alcalins caustiques

- TA : Titre Alcalimétrique =  $[\text{OH}^-] + 1/2 [\text{CO}_3^{2-}]$  : correspond à la concentration de l'eau en ions  $\text{OH}^-$  (alcalinité libre) et 1/2 de la concentration en ions carbonates, si pH d'une eau  $< 8,2$ , alors  $\text{TA} = 0$
- TAC, titre alcalimétrique complet =  $[\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]$  : correspond à la concentration de l'eau en ions  $\text{OH}^-$ , en ions carbonates  $\text{CO}_3^{2-}$  et bicarbonates  $\text{HCO}_3^-$ , le TAC est toujours  $> \text{TA}$ .

# Chapitre III

## 3. Chaudière

### 3.1. Généralités sur les chaudières

#### 3.1.1. Historique des chaudières

La chaudière est un dispositif permettant de chauffer l'eau et de produire de la vapeur si l'eau est chauffée au-delà de la pression atmosphérique. 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. L'idée d'utiliser la vapeur comme force motrice remonte au premier siècle après JESUS CHRIST avec l'invention de l'éolipile par Héron d'Alexandrie. L'éolipile d'Héron est présenté sur la figure 2.1. Mais ce n'est véritablement qu'à partir de la fin du 17<sup>ème</sup> siècle que les ingénieurs ont développé les machines à vapeur modernes. En 1800, l'ingénieur américain Evans mis au point la première chaudière à tubes de fumée qui servit dans les premières locomotives. La nécessité d'avoir des débits et pressions de vapeur importants aboutit en 1867 à la mise au point de la chaudière à tubes d'eau par les ingénieurs américains Babcock et Wilcox. Depuis, celles-ci se sont sans cesse perfectionnées permettant d'avoir notamment des rendements de 90,0 %. (4)



Figure 5 : l'Eolipile d'Héron

Les générateurs de vapeur peuvent être classés selon divers paramètres. On distingue notamment (6) :

### **1. Les générateurs de vapeur à tubes de fumée**

Ce sont des générateurs de vapeur où les gaz de combustion passent à l'intérieur de tubes submergés dans l'eau. Ces générateurs de vapeur sont largement utilisés dans les installations industrielles et commerciales, beaucoup plus dans les locomotives. Un générateur de vapeur à tubes de fumée moderne peut produire de la vapeur à pression jusqu'à 25 bars (basse et moyenne pressions), et un débit de 1 à 25 tonnes/h. Ces générateurs de vapeur peuvent utiliser du gaz naturel, de l'huile ou du combustible solide. Le transfert de chaleur entre les tubes et les gaz de combustion se fait principalement par le mode de convection.

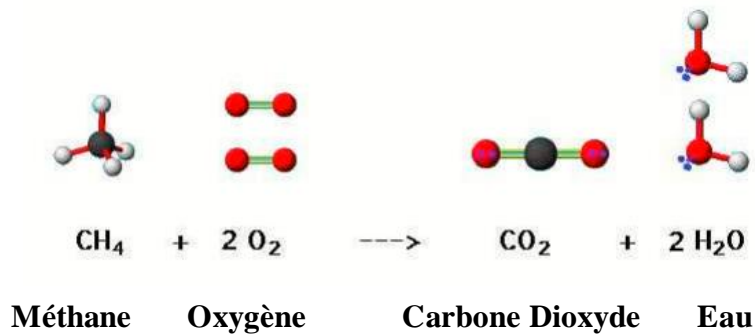
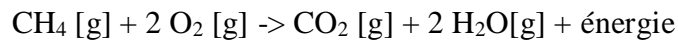
### **2. Les générateurs de vapeur à tubes d'eau :**

C'est un type de générateur de vapeur dans lequel l'eau circule dans les tubes qui sont chauffés extérieurement par les gaz de combustion. Ces générateurs de vapeur sont utilisés dans les grandes installations industrielles et les centrales électriques pour produire de la vapeur à haute pression. Ils utilisent comme combustible du gaz, de l'huile ou du combustible solide. Les générateurs de vapeur à tubes d'eau possèdent en général deux réservoirs ou plus, le réservoir supérieur appelé ballon collecteur, et le (ou les) réservoir inférieur appelé ballon distributeur. 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. Le transfert de chaleur entre les tubes et les gaz de combustion se fait principalement par radiation contrairement à la chaudière à tubes de fumées, où le transfert de la chaleur se fait par convection entre les gaz de combustion (fumées) et les tubes. Les gaz de combustion peuvent être aussi utilisés dans le préchauffage de l'air de combustion et l'eau d'alimentation.

### **Combustion**

Une simple réaction de combustion est donnée pour le méthane. La combustion du méthane signifie qu'il est possible de le brûler. Chimiquement, ce processus de combustion consiste en une réaction entre le méthane et l'oxygène de l'air. Lorsque cette réaction a lieu, il en résulte du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), de l'eau (H<sub>2</sub>O) et une grande quantité d'énergie. La réaction suivante représente la combustion du méthane :





*Figure 6 : Réaction de combustion*

### 3.1.2. Caractéristique des eaux de chaudières

Une chaudière est une unité pour générer de la vapeur, qui est composée de deux parties : le four, qui fournit la chaleur, habituellement en brûlant des combustibles, et la chaudière, une unité dans laquelle la chaleur transforme l'eau en vapeur. La vapeur ou le fluide chaud sont alors recyclés hors de la chaudière pour l'usage dans divers procédés dans les applications de chauffage. (7)

#### 1. Eau de Chaudière

Avant de discuter et de comprendre la purge de la chaudière, il est nécessaire de définir l'eau ainsi que les impuretés ainsi que les termes connexes tels que la dureté, le pH, etc.

L'eau est la matière première la plus importante sur Terre. Il est essentiel à la vie, utilisé pour le transport et pour stocker l'énergie. Aussi appelé "solvant universel".

L'eau pure ( $\text{H}_2\text{O}$ ) est insipide, inodore et incolore sous sa forme pure. Cependant, l'eau pure est très rare. Toutes les eaux naturelles contiennent divers types et quantités d'impuretés.

Une bonne eau potable n'est pas nécessairement une bonne eau d'alimentation de chaudière. Les minéraux contenus dans l'eau potable sont facilement absorbés par l'organisme et sont essentiels à notre bien-être. Cependant, la chaudière ne peut pas le gérer et les mêmes minéraux peuvent endommager la chaudière à vapeur s'ils sont laissés seuls.

Les eaux contenant des composants s'infiltrant dans les eaux souterraines à travers les couches supérieures de la terre ou s'écoulent vers la surface, dissolvant et collectant des impuretés

supplémentaires. Ces impuretés peuvent former des dépôts sur les surfaces de transfert de chaleur et peuvent :

- Corrosif pour les métaux.
- Réduit le taux de transfert de chaleur.
- Entraînant une surchauffe et une perte de résistance mécanique.

### 2.Eaux industrielles

La qualité et la quantité d'eau utilisée dans l'industrie varient considérablement selon le type et la taille du fabricant. L'eau qui entre dans la boucle de refroidissement de la chaudière est moins exigeante que l'eau utilisée dans l'industrie électronique.

### 3.Définition de l'eau pure

L'eau est un composé omniprésent sur terre et est essentielle pour tous les organismes connus. L'eau pure a la formule chimique  $H_2O$ . Par conséquent, l'eau pure est de l'eau pure et n'est composée que de molécules d'eau.

### 4.Composition d'une eau brute : eau de forage

- Les éléments minéraux : les cations tels que le calcium ( $Ca^{2+}$ ), magnésium( $Mg^{2+}$ ), potassium( $K^+$ ), sodium( $Na^+$ ) et le fer ferreux ( $Fe^{2+}$ ) ... et les anions tels que :  $OH^-$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$ , sulfate( $SO_4^{2-}$ ), nitrate ( $NO_3^-$ ), phosphate( $PO_4^{3-}$ ),
- Les gaz dissous :  $CO_2$ ,  $O_2$ .
- Les oligo-éléments : Le cuivre, zinc, étain, vanadium, titane, molybdène, zirconium, germanium...

## **3.2. Usage général de la chaudière dans l'industrie papetière**

- Les chaudières produisent de la vapeur à différentes températures et pressions selon le type de chaudière. Dans l'industrie, la vapeur est utilisée pour le séchage du papier, la production d'électricité, le chauffage en boucle, la cuisson de l'amidon, ... L'eau contient des impuretés, de nombreux problèmes de corrosion, de colmatage et d'apprêt causent la génération de vapeur.
- En raison du coût de l'énergie (combustible), les industriels recherchent en permanence des moyens d'optimiser le rendement thermique de leurs chaudières. La valorisation énergétique

est une préoccupation majeure. La deuxième préoccupation est le vieillissement des équipements et le maintien des équipements dans un état optimal (limité sur les coûts d'exploitation et de maintenance).

- Besoin d'un traitement ou d'un prétraitement externe pour éliminer les impuretés de l'eau fournie pour la production de vapeur (filtration, détartrage, décantation, osmose inverse, adoucissement, déminéralisation, .... Ou une combinaison de plusieurs de ces systèmes).
- Un traitement ou prétraitement externe est nécessaire pour éliminer les impuretés présentes dans l'eau d'alimentation pour la production de vapeur (filtration, détartrage, décantation, osmose inverse, adoucissement, déminéralisation, ... ou combinaison de plusieurs de ces systèmes).
- Il est alors indispensable de traiter la chaudière et les anneaux de condensat avec des produits chimiques spécifiques pour se protéger des problèmes de corrosion (acide,  $\text{CO}_2$ , oxygène, soude caustique) et d'encrassement (degré de contamination, dureté, silice, fer, etc.) pouvant survenir (variations de la qualité de l'eau d'alimentation, des conditions de fonctionnement, du taux de concentration, etc.).
- Le programme de traitement est déterminé sur la base des données primaires communiquées par l'industrie (qualité de l'eau pompée, recommandations du fournisseur de la chaudière, caractéristiques du cylindre Yankee) mais le dosage devra être ajusté précisément en fonction de la qualité de l'eau sortant de le procédé de prétraitement et les conditions de fonctionnement de l'équipement (rendement thermique du dégazeur, taux de concentration, recyclage des condensats). (8)

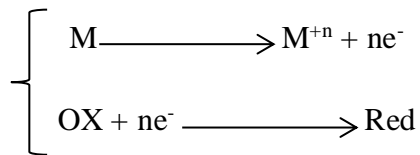
### **3.3. Principaux inconvénients provoqués par les impuretés de l'eau (9)**

#### **3.3.1. La corrosion**

La corrosion est une attaque d'un matériau par réaction avec le milieu environnement et la perte des qualités spécifiques du matériau. La corrosion est caractérisée par deux points :

- Spontané
- Indésirable

Le phénomène de corrosion est décrit comme suite :



Le « OX » est dit le moteur de corrosion qui fasse la réaction de métal après oxydation. Selon cette réaction, on peut décrire deux types de corrosion :

### 1. Corrosion chimique :

Est caractérisée par réaction chimique, dont le point où se passe l'oxydation est la même où se passe la réduction, pas de circulation des électrons, et dans ce cas on aura seulement un dégagement de la chaleur, ce qu'on appelle l'effet thermique.

### 2. Corrosion électrochimique :

Est caractérisée par la réaction électrochimique, dont le point où se passe l'oxydation est différent au point où se passe la réduction tel que le point (A) on aura l'oxydation de métal et au point (B) on aura la réduction du métal, donc on aura une circulation des électrons de (A) vers (B), on appelle le point (A) l'anode le point (B) la cathode.

L'oxygène dissous présent dans l'eau de remplissage où d'appoint réagit avec toutes les surfaces pour former les oxydes. Cette réaction peut entraîner les Perturbations suivantes :

Percement - éclatement : en présence des conditions favorables à la corrosion. Le métal arrive à un moment donné à sa limite de résistance mécanique, et il y aura un percement ou un éclatement.

#### **3.3.2. Le primage**

C'est l'entraînement de l'eau de chaudière dans la vapeur, ce phénomène a plusieurs origines :

- La conception de la chaudière : taux de vaporisation élevé par rapport aux surfaces de chauffe et du plan d'eau.
- Le régime de fonctionnement.
- Le taux de salinité de l'eau.

#### **3.3.3. Le tartrage**

Due aux dépôts sur les parois de chaudière de précipité cristallins qui gênent la transmission de la chaleur, provoquent des surchauffes locales, qui sont provoqué par combinaisons entre les différents sels dissous dans l'eau.

### 3.4. Les principales étapes de traitement de l'eau à l'unité

#### 3.4.1. La désinfection

La désinfection est un traitement par dosage qui a pour objectif l'élimination (effet biocide) des croissances bactériennes, des virus, des levures, des moisissures et d'autres micro-organismes aquatiques ou à les stopper (effet bio statique), ces organismes sont responsables des diverses maladies à transmission hydrique. (5)

Le principal avantage du procédé est la rémanence du traitement, c'est-à-dire que l'eau ainsi traitée garde dans le temps des propriétés désinfectantes et permet donc, dans une certaine mesure, d'absorber une contamination ultérieure et de désinfecter les matériaux avec lesquels elle est en contact.

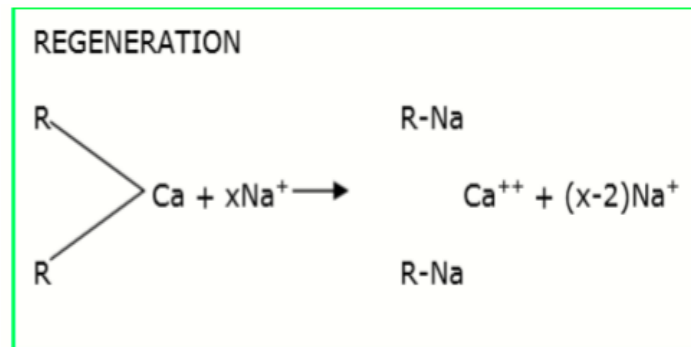
#### 3.4.2. L'adoucissement

L'eau dure va subir un adoucissement. L'adoucisseur est dispositif composé de trois parties : un bac à sel contenant de l'eau et du sel, une bonbonne échangeuses et un boîtier qui pilote système. La bonbonne contenait des échangeurs d'ions appelés les résines. Ces résines permettent de retirer dans l'eau les ions calciums ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et les ions magnésiums ( $\text{Mg}^{2+}$ ) par un échange d'ions sodiums. Les résines sont donc des composés solides insolubles disposant au sein de leur structure d'ions sodium mobiles. (10)

A la fin de l'adoucissement, on obtient une eau adoucie dépourvue d'ions calcium et d'ions magnésium responsables de la dureté de l'eau. Ainsi lorsqu'un volume de résine a libéré tous les ions mobiles dont elle était dotée, l'échange d'ion ne peut plus avoir lieu. La résine est alors dite « saturée » elle a donc perdu son pouvoir d'échange. La résine saturée peut alors soit être purement et simplement remplacée par de la résine neuve, soit subir un traitement qui tendra à lui redonner sa forme chimique d'origine.

Un tel traitement est appelé régénération qui consiste à faire percoler sur la résine saturée une solution de sel très riche en ion régénérant ( $\text{Na}^+$ ) ces sels sont stockés dans un bac qui contient de l'eau adoucie qui alimenter l'adoucisseur lors de la régénération, de façon à ce que ces derniers se substituent aux ions fixés pendant le cycle de production. La régénération de l'adoucisseur se fait

- La dureté de l'eau est composée d'ions (essentiellement calcium et magnésium) qui peuvent provoquer des dépôts. Leur concentration est définie en mg/l (ou ppm) de  $\text{CaCO}_3$



*Figure 7 : Réaction de la régénération*

### Sel en pastilles.

- Spécifications techniques
  - Sel Industriel en Pastilles
  - Chlorure de sodium ( $\text{NaCl}$ )
  - Conforme à la norme EN973
- Composition :
  - Chlorure de Sodium ( $\text{NaCl}$ ) : Min 99.9%.
  - Impureté : Max 0.1%.
- Domaine d'Utilisation :
  - Traitement des Eaux.
  - Industries.
  - Usage domestique.
  - Appareils Hémodialyses et autres.
- Mode d'emploi :
  - Disposer les pastilles de sel dans le bac de votre installation d'adoucisseur d'eau.

**Important :**

- Pour bien conserver le sel, faut le stocker dans un endroit sec à l'abri de l'humidité, de la chaleur et de la lumière.
- L'ajout de sel est de 75kg après chaque régénération et le contrôle continu du travail de l'adoucisseur et suivi des résultats de ses prélèvements avec le laboratoire.

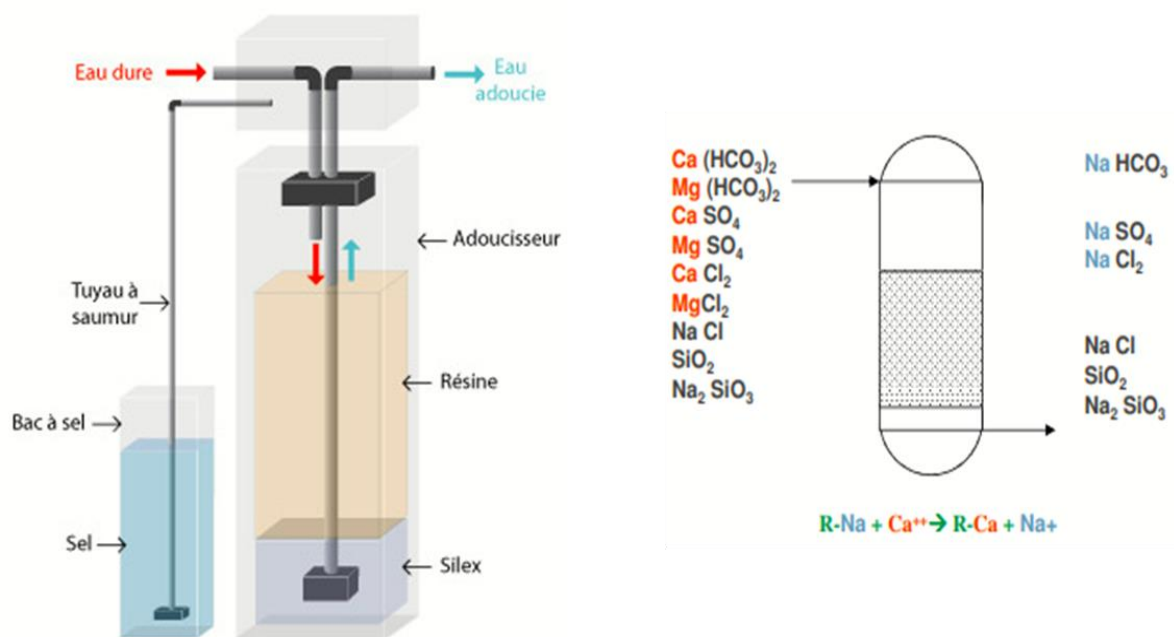


Figure 8 : Système adoucissement

**Résultat :**

- Pas de changement de pH
- TH = 0
- Pas de changement de TAC
- Légère augmentation de la salinité
- Pas de changement de silice
- Fer partiellement enregistré

### 3.4.3. Bâche d'alimentation

Lors de la construction d'un système de chaudière, vous avez besoin d'un réservoir de stockage d'eau de bonne taille pour plusieurs raisons. Pour éviter une coupure de niveau d'eau bas, effectuer un traitement de préchauffage pour réduire la concentration d'air. Le réservoir d'eau est équipé d'un réservoir de stockage à pression atmosphérique préchauffé à la vapeur directe. En raison de l'atmosphère, la température de l'eau peut monter jusqu'à 100°C, mais ne peut pas dépasser cela. (11)

L'eau douce sort de l'adoucisseur et entre dans le réservoir d'alimentation. La solubilité de l'oxygène diminue, puis sa concentration augmente. La température atteint 90 degrés au-dessus. Des produits chimiques sont ajoutés pour éliminer l'oxygène du système (Amersite), pour empêcher la corrosion.

#### 1. Spécifications du réservoir d'alimentation

Le réservoir d'eau d'alimentation est construit en acier inoxydable, avec des accessoires standard comprenant :

- Vanne de contrôle de la vapeur Premium.
- Fabriquée par Armstrong.
- Isolation du canon en option.
- Une dérivation à trois soupapes pour la soupape de surpression.
- Soupape de commande et buse de préchauffage de la vapeur.
- Un retour de condensats,
- Une sortie de l'eau vers la pompe alimentaire qui alimente le générateur de vapeur : la chaudière.
- Un trop plein,
- Un évent.
- Une régulation de niveau (par transmetteur, niveaux à seuil ou robinet à flotteur), pour maintenir un niveau minimum d'eau pour l'alimentation de la pompe de la chaudière
- Un dispositif de vidange de la cuve
- Une arrivée d'eau pour compléter le volume du réseau (par raccord symétrique ou tuyauterie permanente avec vanne)
- Une ouverture d'inspection, sur le dôme supérieur ou en paroi



- L'ensemble est calorifugé, généralement avec de la laine de roche (jusqu'à 100 mm d'épaisseur) revêtue par de l'aluminium ou de l'inox

### 2.Élimination d'oxygène (8)

#### ➤ Voie thermique

Température °C	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Oxygène (ppm)	8.11	7.53	7.04	6.56	6.1	5.57	5.2	4.7	4.3	3.7	3.4	2.9	2.2	1.6	0.8

#### ➤ Voie chimique : Amersite (base DEHA)



Le DEHA est un piègeur d'oxygène volatil

- Passivation de la surface métallique (film d'oxyde de magnétite).
- Protéger la section pré-chaudière et la section post-chaudière.
- Résidu facile à mesurer.

### 3.4.4. Traitement de chaudière par purge

Pendant le fonctionnement de la chaudière, l'eau est chauffée et s'évapore pour obtenir un flux. Par conséquent, la concentration de solides dissous augmente dans la chaudière. Dans le même temps, le fait que l'eau nécessite plus d'énergie pour s'évaporer augmente la consommation d'énergie. Pour éviter la calcification et réduire la consommation d'énergie, l'eau contenue dans la chaudière est vidangée et remplacée par de l'eau d'alimentation. Ce processus est appelé **purge**. La purge est déterminée par la concentration de solides dissous et dépend des conditions de fonctionnement et de la conception de la chaudière. (12)

Selon la conception de la chaudière, l'opération de purge peut être manuelle ou continue. La plupart des systèmes industriels peuvent généralement faire les deux. Le drainage manuel permet de vidanger l'eau lorsque la qualité de l'eau atteint sa limite de fonctionnement. Le drainage automatique vous permet de réguler la qualité de l'eau et de maintenir à tout moment le niveau de matières en suspension dans le réservoir de chauffage. Divers paramètres peuvent être mesurés pour contrôler la qualité de l'eau de la chaudière et estimer quand une purge est nécessaire. Alcalis, la dureté, le Fer, solides en suspension, chlorures, silice, etc.

### 3.4.5. Traitement de l'eau de chaudière par des produits chimiques (8)

- **Amersite** : Le traitement d'eau de chaudière est un désoxydant volatil (base DEHA) formulé pour éliminer chimiquement l'oxygène de l'eau du système de génération de vapeur, de l'eau de chaudière et de l'eau condensée. Il passive également la surface du fer et du cuivre, augmentant sa résistance à la corrosion.
- **Drewtrol** : traitement intérieur est un produit antitartre concentré pour **chaudière**. Polyphosphate (précipite la dureté de la chaux soluble de l'eau de chaudière sous forme de boue non adhésive), bloqueur d'ions métalliques (forme un complexe thermostable soluble avec des impuretés qui agissent comme un liant pour les boues d'eau de chaudière normales), polymères (les solides en suspension sont la surface interne de la chaudière). Et éliminer progressivement les dépôts existants) et anti mousse (empêcher l'eau de la chaudière d'être emportée).
- **Amercor** : Le traitement de condensat est utilisé pour contrôler la corrosion de la section post-chaudière des systèmes de génération de vapeur en neutralisant l'acidité du condensat. Amercor 8785 est un mélange d'amines volatiles conçu pour protéger les sections basse, moyenne et haute pression des systèmes de condensation de vapeur.

Tableau 5 : Traitement de chaudière chimique

Traitement	Fonction	Produit	Alimentation	Dosage typique	Point d'alimentation
Traitement de chaudière	Désoxygénant	Amersite 1824	Continue	Base sur la condition de la chaudière et l'analyse de l'eau	L'eau d'alimentation
	Traitement interne	Drewtrol 18500			
	Condensat	Amercor 8785			

### 3.4.6. Le condensat

Lorsque la vapeur transfère de la chaleur dans le processus de fabrication, l'échangeur de chaleur ou le serpentín de chauffage, elle retourne à une phase liquide appelée condensat. Une manière intéressante d'améliorer l'efficacité énergétique dans une industrie papeterie consiste à augmenter le retour d'eau condensée vers la bache d'alimentation de la chaudière. (1)

**Le sécheur Yankee :** est un grand récipient sous pression chauffé à la vapeur utilisé dans la production de papier de qualité. Pendant la fabrication, de la vapeur à haute pression est appliquée à l'intérieur du sécheur pour chauffer la chemise et sécher la planche. Après cela, il est nécessaire d'éliminer le condensat formé. Ce cours décrit l'équipement de distribution de vapeur et d'élimination du condensat que l'on trouve dans les sécheurs Yankee. Ensuite, nous discuterons de la manière dont la pression de vapeur dans le sécheur est contrôlée, du fonctionnement du compresseur thermique et de deux manières courantes de contrôler le débit de vapeur et de condensat à travers le sécheur Yankee. (13)

Le retour des condensats chauds vers la bache d'alimentation est logique pour plusieurs raisons. Plus il y a d'eau condensée recyclée, moins il faut d'eau d'appoint, ce qui permet d'économiser du carburant, de l'eau d'appoint, des produits chimiques et des coûts de traitement. Étant donné que moins d'eau condensée est rejetée dans les égouts, les coûts d'élimination sont réduits avec l'injection de « l'Amcor » (neutralisant l'acidité du condensat) à la ligne de retour du condensat. La recirculation des condensats à haute pureté réduit également les pertes d'énergie dues à la purge de la chaudière. La plupart des eaux condensées de retour sont relativement chaudes (54 °C à 107 °C) et réduisent la quantité d'eau d'appoint froide (10 °C à 16 °C) qui doit être chauffée, ce qui entraîne d'importantes économies de carburant.

### 3.5. Système d'alimentation de la chaudière de l'unité

La figure suivante représente le système d'alimentation de la chaudière avec les points de prélèvements.

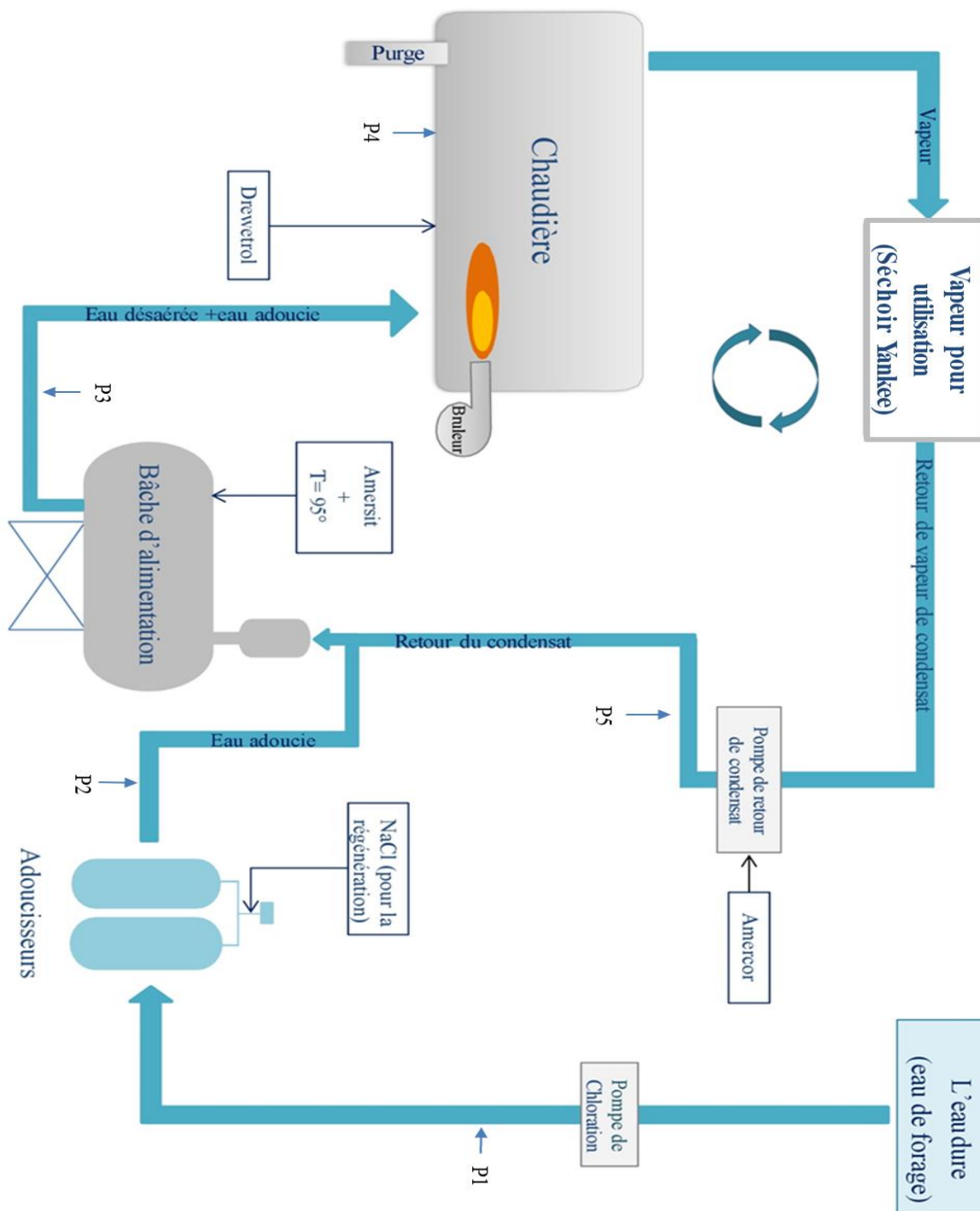


Figure 9 : Le système d'alimentation de la chaudière

# Chapitre IV

## 4. Méthode et procédures expérimentales

### 4.1. Point de prélèvement

Mon stage s'est effectué du 01/03/2022 à 26/03/2022 et consistait à une contribution à l'analyse de l'eau de chaudière. Pour le suivi de traitement de l'eau de chaudière nous avons fait des prélèvements.

- Le point de prélèvement p1 (l'eau brute) : l'eau provenant des forages après la désinfection.
- Le point de prélèvement p2 (l'eau adoucie) : eau dépourvue d'ions calciums et magnésiums.
- Le point de prélèvement p3 (eau de bêche alimentaire) : eau stockée pour alimenter les chaudières.
- Le point de prélèvement p4 (eau de chaudière).
- Le point de prélèvement p5 (eau de condensat) : la vapeur qui se transforme en phase liquide.

### 4.2. Matériels

- **PL-700AL pH mètre / Conductimètre**

Les appareils de mesure de paillasse multi paramètres de la série PL700 utilisent une technologie de pointe qui intègre un microprocesseur adapté aux mesures dans des solutions aqueuses dans les laboratoires, les laboratoires industriels et les zones de production. Les informations contenues dans ce manuel sont susceptibles d'être modifiées sans préavis à des fins d'amélioration.



Figure 10 : PL-700AL pH mètre / Conductimètre

### Caractéristiques :

1. Boîtier robuste à microprocesseur et clavier anti-gouttes.
2. Le grand écran LCD rétro éclairé affiche le pH ou l'ORP ou la conductivité ou l'OD et la température en même temps.
3. Compensation automatique de température (ATC), teneur en sel manuelle (MSC), compensation d'altitude (MAC).
4. Fonction mémoire pour sauvegarder et rappeler jusqu'à 150 points. MAX / MIN et verrouillage des données. °C Ou °F est disponible.
5. Combinez une plate-forme spéciale avec un porte-électrode ou un agitateur (en option) pour des mesures pratiques.
6. Émet les données pour l'enregistrement directement sur un PC via USB.

### Spécifications

	<b>pH</b>	<b>Conductivité</b>
Portée	-2.00~16.00 pH	0.0~ 199.9 $\mu$ S
Précision	$\pm 0.01+1$ digit	200~ 1999 $\mu$ S
Résolution	0.01 pH	2.00~ 19.99 mS
Compensation	ATC : 0~100 °C	20.0~ 200.0 mS

- **Titrimétrie digitale 16900** (14)

La titrimétrie digitale Hach est un nouveau concept dans l'analyse volumétrique. C'est un dispositif de dosage de précision utilisant des solutions titrantes concentrées en conteneurs compacts appelés cartouches. Des titrages exacts sont réalisés sans l'encombrement et la fragilité des burettes classiques.

Une vis sans fin dans le titrimètre digital commande un piston qui pousse la solution hors de la cartouche avec un débit contrôlé. Le corps du titrimètre est construit en plastique acétal moulé résistant à l'usure, aux chocs et à la corrosion. L'exactitude est  $> \pm 1\%$  pour un titrage de plus de 100 unités. Pour les titrages de moins de 100 unités, l'exactitude est  $\pm 1$  unité.

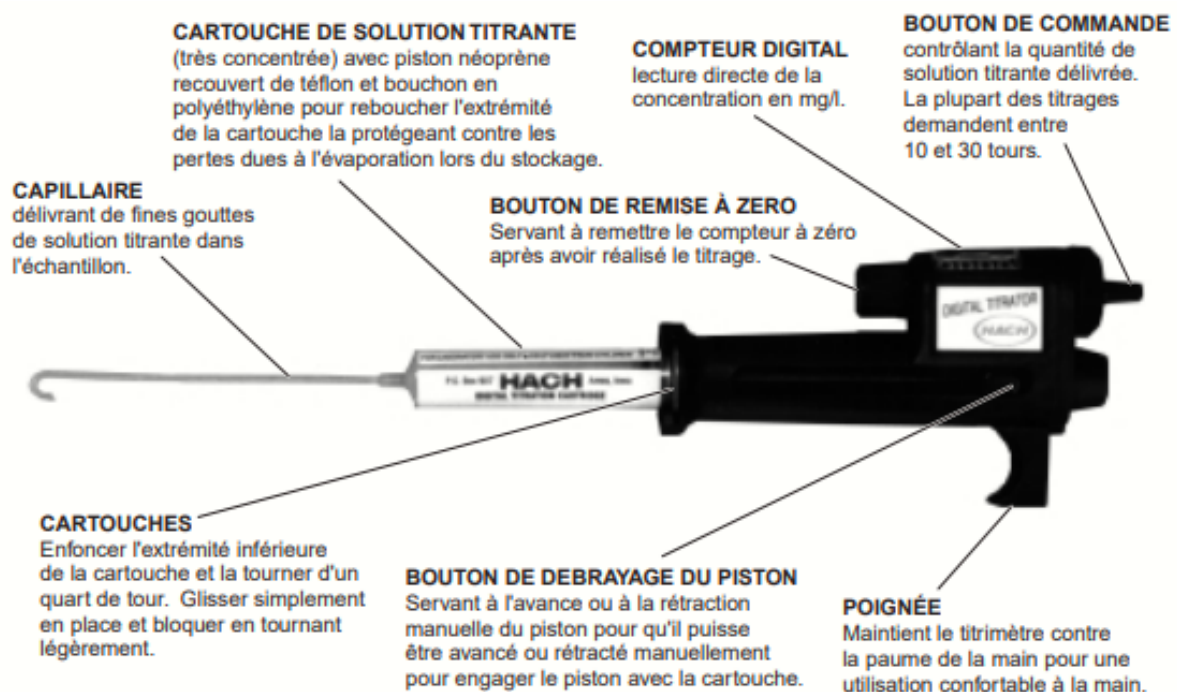


Figure 11 : Titrimetre digitale Hach 16900

### **1.Caractéristique de Titrimétrie digitale 16900**

- Débit : 800 unités/ml ou .000125 ml/unités
- Précision : L'exactitude est  $\pm 1\%$  pour un titrage de plus de 100 unités. (L'incertitude de lecture est 1 unité. La plupart des échantillons exigent plus de 100 unités.)
- Poids : 132 g

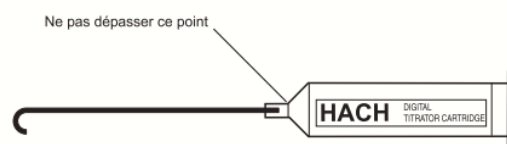


## **2. Cartouches pour le Titrimétrie Digital**

- Volume : 13 ml
- Nombre d'analyse : La plupart des réactifs sont formulés pour permettre 100 titrages moyens ; Le nombre peut varier selon la concentration de l'échantillon.
- Poids (pleines) : 56.75g

## **3. Technique Détaillée**

1. Choisir un volume d'échantillon et la cartouche correspondant à la gamme de concentration attendue pour l'échantillon à partir du tableau figurant dans chaque technique. Si la gamme de concentration de l'échantillon est inconnue, commencer avec l'un des plus petits volumes et déterminer sa concentration approximative. Titrer à nouveau avec le volume d'échantillon approprié.
2. Fixer la cartouche sur le titrimètre en la glissant en place, et la bloquer en position en le tournant légèrement. Voir Figure 2.
3. Retirer le bouchon de la cartouche et introduire un capillaire propre dans la pointe de la cartouche. Voir Figure 3. Utiliser un capillaire droit terminé par une crosse pour les titrages à la main ; un capillaire à angle droit avec crosse est utilisé pour les montages sur statifs. Ne pas introduire le capillaire au-delà de la pointe de la cartouche. Voir Figure 3. Dans certains cas, il peut être nécessaire d'ébavurer la pointe du capillaire avant introduction.

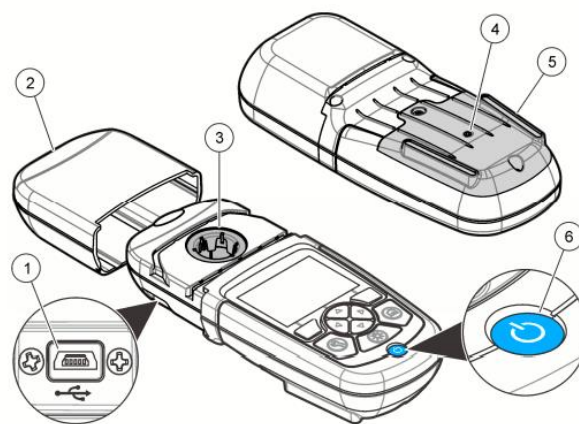


*Figure 12 : Cartouche de dosage*

- **HACH DR900** (15)

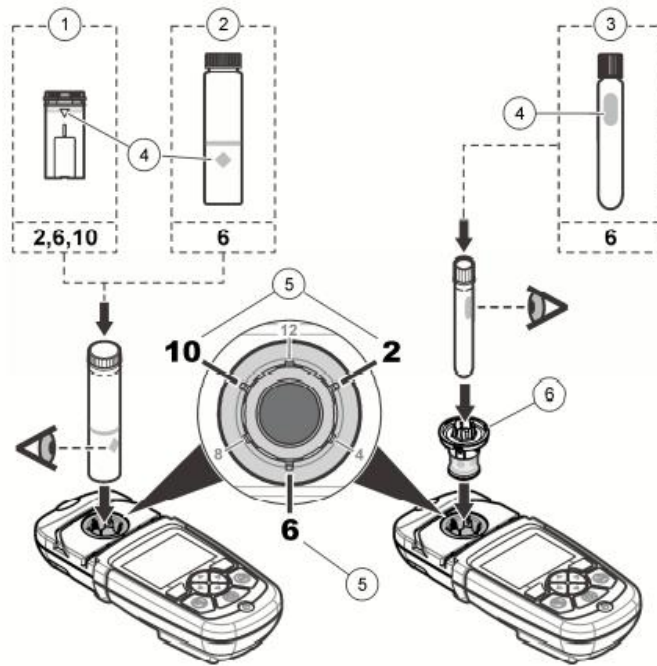
Le DR 900 est un colorimètre portable à source de lumière LED capable de mesurer des longueurs d'onde de 420, 520, 560 et 610 nm. L'instrument permet de mesurer divers paramètres dans les applications d'eau potables, d'eaux usées et industrielles. L'instrument est livré avec un ensemble complet de programmes enregistrés (méthodes préinstallées) et la possibilité de stockage de programmes utilisateur et de sélection de programme favori.

### **Présentation de l'appareille DR900**



<b>1</b> Port USB	<b>4</b> Mise à l'air liber
<b>2</b> Capuchon de l'instrument	<b>5</b> Compartiment à piles
<b>3</b> Compartiment de la cuve	<b>6</b> Touche d'alimentation

*Figure 13 : Instrument*



<b>1</b> Cuve à échantillon en plastique 1 cm/10 ml	<b>4</b> Repère d'orientation
<b>2</b> Cuve à échantillon en verre 1 pouce (25 mm)	<b>5</b> Position d'orientation (horaire)
<b>3</b> Flacon d'essai en verre 16 mm	<b>6</b> Adaptateur de cuve à échantillon

Figure 14 : Orientation de la cuve à échantillon

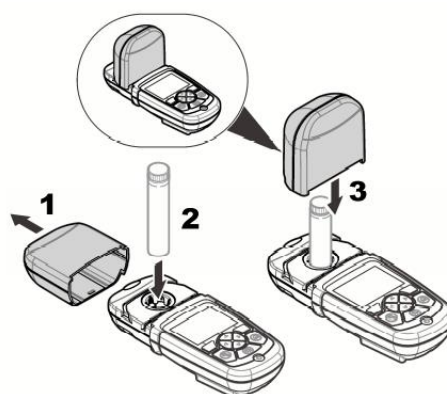
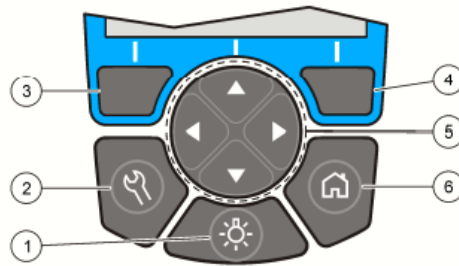
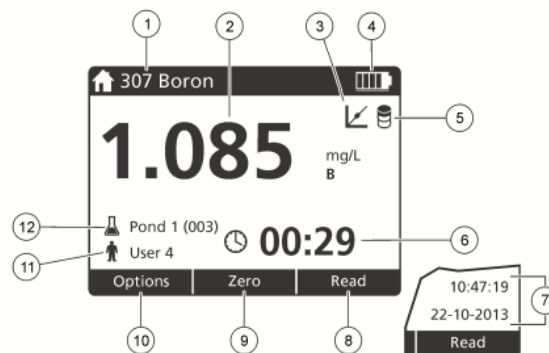


Figure 15 : Installation de la cuve à échantillon et du capuchon d'instrument



<b>1</b> Cuve à échantillon en plastique 1 cm/10 ml	<b>4</b> Repère d'orientation
<b>2</b> Cuve à échantillon en verre 1 pouce (25 mm)	<b>5</b> Position d'orientation (horaire)
<b>3</b> Flacon d'essai en verre 16 mm	<b>6</b> Adaptateur de cuve à échantillon

Figure 16 : Description du clavier



<b>1</b> Nom et numéro du programme	<b>7</b> Heure et date
<b>2</b> Valeur, unité et formule chimique affichées inférieures « --- » ou supérieures à la plage de mesure « +++ »	<b>8</b> Lire (contextuel : Terminer, Sélect., Départ, OK)
<b>3</b> Icône de réglage standard	<b>9</b> Zéro (contextuel : touche de navigation flèche haut)
<b>4</b> Etat des piles	<b>10</b> Options (contextuel : Préc., Annuler)
<b>5</b> Icône de blanc de réactif	<b>11</b> Identification d'opérateur
<b>6</b> Minuterie	<b>12</b> Identification d'échantillon

Figure 17 : Affichage sur écran unique

### 4.3. Méthode et procédure expérimentale d'analyse des paramètres physico-chimiques

Pour connaître l'efficacité du traitement de l'eau brute, le laboratoire effectue des analyses sur les échantillons d'eau prélevée à chaque étape du traitement. Ces analyses concernent les paramètres physico-chimiques d'une eau à l'entrée et à la sortie de la ligne de chaudière.

#### 4.3.1. La conductivité

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier approximativement la quantité de sels dissous dans l'eau et suivre.

C'est un paramètre essentiel pour la conduite des chaudières électriques. La mesure a été réalisée par un conductimètre dont la capacité de mesure se limite à 15  $\mu$ S.

La conductivité dépend de la température : elle est plus importante lorsque la température augmente.

##### Principe :

Plonger la sonde du conductimètre dans l'échantillon et attendre quelques minutes (5 minutes) la valeur s'affiche sur l'écran.

#### 4.3.2. Le potentiel Hydrogène (pH)

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions  $H_3O^+$  de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14 et 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibres physico-chimiques et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau.

##### Principe :

Mettre le pH mètre en marche en appuyant sur SETUP puis sur MESURE. Ensuite rincer à l'eau distillée la partie qui sera introduit dans l'échantillon puis introduit le et appuyer sur SETUP et sur MESURE. Enfin attendre quelques secondes, après apparition d'ERROR

appuyer sur MESURE pour afficher la valeur du pH. On détermine le pH de tous les échantillons.

### 4.3.3. La dureté TH (14)

Le TH indique la teneur globale de l'eau en sels de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et de magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) qui rendent l'eau dure, on donne l'unité de la dureté en degré français ( $\text{F}^\circ$ ) ou en mg/l.

#### Matérielle

- Titrimétrie digitale 16900
- ManVer 2 Indice de dureté Poudre 1
- Dureté 1 solution Tampon 2 ml
- Cartouche de titrage EDTA (voir Volume d'échantillon et multiplicateur numérique dans le tableau) 1
- Titracteur numérique 1
- Tube de distribution pour titrateur numérique 1
- Eprouvette graduée (taille à utiliser en fonction du volume d'échantillon sélectionné)
- Fiole Erlenmeyer, 250 ml 1
- Eau distillée.

#### Mode de prélèvement

- Recueillir l'échantillon dans une bouteille en verre ou en plastique propres qui ont été nettoyées avec détergent et rincées avec de l'acide nitrique et de l'eau déminéralisée.
- Pour stocker des échantillons en vue d'une analyse ultérieure, ajustez le pH de l'échantillon à 2 ou moins avec acide nitrique concentré (environ 2 ml par litre). Pas besoin d'ajouter de l'acide si les échantillons sont testés immédiatement.
- Conservez les échantillons stockés à ou en dessous de  $6^\circ\text{C}$  ( $43^\circ\text{F}$ ) pendant 7 jours maximum.
- Avant l'analyse, ajuster le pH à 7 avec une solution d'hydroxyde de sodium.
- Correction des résultats de test pour la dilution due à l'ajout de volume.

#### Mode opératoire

1. Sélectionnez le volume d'échantillon et la cartouche de titrage dans le tableau 6.

2. Insérez un tube d'alimentation propre dans la boîte de titrage numérique. Fixez la cartouche de titrage EDTA au titrateur numérique.
3. Tenez le titre numérique avec la pointe de la cartouche vers le haut. Tournez le bouton du distributeur pour expulser l'air et quelques gouttes de titrant. Remettez le compteur à zéro et nettoyez la pointe.
4. Mesurer le volume d'échantillon du tableau 6.
5. Verser l'échantillon dans un erlenmeyer propre de 250 ml.
6. Dilué à environ 100 ml avec de l'eau déminéralisée.
7. Ajouter 2 ml de tampon de dureté.
8. Bien agiter.
9. Ajouter le contenu d'un sachet de poudre indicatrice de dureté ManVer 2.
10. Secouez pour mélanger.
11. Plongez complètement l'extrémité du tube d'alimentation dans la solution. Secouez la bouteille. Tournez le bouton du titrateur numérique pour ajouter le titrant à la solution. Continuez à agiter le flacon. Ajouter le titrant jusqu'à ce que la couleur passe du rouge au bleu pur. Notez le nombre de chiffres sur le compteur.
12. Utilisez le multiplicateur du tableau 6 pour calculer la concentration.  
Nombres utilisés  $\times$  multiplicateur = mg/L dureté totale en  $\text{CaCO}_3$

Tableau 6 : Volume d'échantillon et Multiplication de chiffres - mg/L (14)

Intervalle (mg/L as $\text{CaCO}_3$ )	Volume d'échantillon	Cartouche de titrage	Multiplicateur de chiffres
10 – 40	100	0.08	0.1
40 – 160	25	0.08	0.4
100 – 400	100	0.80	1.0
200 – 800	50	0.80	2.0
500 – 2000	20	0.80	5.0
1000 – 4000	10	0.80	10.0

#### 4.3.4. Le Fer ( $\text{Fe}^{2+}$ ) (15)

La présence de fer dans les eaux souterraines a de multiples origines : le fer, sous forme de pyrite ( $\text{FeS}_2$ ), est couramment associé aux roches sédimentaires déposées en milieu réducteur (marnes, argiles) et aux roches métamorphiques. Il se retrouve souvent à de fortes concentrations dans les eaux des cuirasses d'altération de socle. Il est aussi présent sous forme dissous ( $\text{Fe}^{2+}$ ) présent en quantité élevée dans l'eau de forage.

Le fer ( $\text{Fe}^{2+}$ ) est oxydé par le periodate de sodium en fer ferrique ( $\text{Fe}^{3+}$ ). En présence d'acide sulfosalicylique, l'ion ferrique forme un complexe rouge. La coloration rouge de la solution disparaît pendant le titrage. L'acide citrique est utilisé pour tamponner la solution et stabiliser l'ion ferrique en solution.

##### Matérielle

- HACHE DR900
- Réactif pour fer FerroVer.
- Bécher, 50 ml
- Cuves d'échantillon.
- Bouchon pour tubes de 18 mm et ampoules AccuVac

##### Prise et stockage d'échantillons

- Prélevez les échantillons dans des flacons en verre ou plastique propres qui ont été nettoyés avec de l'acide chlorhydrique 6 N (au 1/2) et rincés à l'eau désionisée.
- Si le fer dissous seul doit être déterminé, filtrez l'échantillon immédiatement après sa prise et avant l'acidification.
- Afin de préserver les échantillons en vue d'une analyse ultérieure, ajustez le pH de l'échantillon à moins de 2 avec de l'acide nitrique concentré (environ 2 ml par litre). Aucun ajout d'acide n'est nécessaire si l'analyse de l'échantillon a lieu immédiatement.
- Conservez les échantillons à température ambiante pendant un maximum de 6 mois.
- Avant de procéder à l'analyse, ajustez le pH sur 3 à 5 avec une solution d'hydroxyde de sodium 5 N.
- Corrigez le résultat de l'analyse selon la dilution générée par les ajouts de volumes.

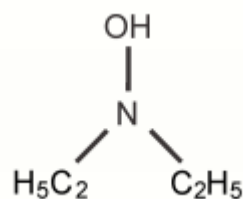


**Mode opératoire**

1. Lancez le programme 265 Iron FerroVer.
2. Préparation de l'échantillon : remplissez une cuve d'échantillon avec 10 ml d'échantillon.
3. Ajoutez le contenu d'un sachet de poudre de réactif au fer FerroVer dans la cuve d'échantillon.
4. Faites tourner la cuve d'échantillon pour en mélanger le contenu. La poudre non dissoute n'a aucun impact sur l'exactitude.
5. Déclenchez la minuterie de l'appareil. Le décompte d'un temps de réaction de 3 minutes commence. La couleur de l'échantillon devient orange en présence de fer. Laissez les échantillons contenant de la rouille réagir pendant au moins 5 minutes ou plus
6. Préparation du blanc : remplissez une seconde cuve d'échantillon avec 10 ml d'échantillon.
7. Nettoyez la cuve d'échantillon de blanc. A la fin de la minuterie, insérez le blanc dans le porte-cuve
8. Appuyez sur ZERO (Zéro). L'affichage indique 0,00 mg/l Fe. Nettoyez la cuve d'échantillon préparé. Insérez l'échantillon préparé dans le porte-cuve.
9. Appuyez sur le bouton READ (Mesure). Résultats affichés en mg/l Fe.

**4.3.5. Réducteurs d'oxygène DEHA (15)**

La diéthylhydroxylamine (DEHA) est utilisée en tant que réducteur d'oxygène afin de réduire la corrosion dans les chaudières. Elle intervient également dans les procédés photographiques et la fabrication de certains composants en silicium. Les méthodes analytiques de contrôle des concentrations de DEHA sont notoirement complexes et très difficiles à mettre en œuvre sur site. Hach a développé une méthode d'analyse relativement simple, qui peut être appliquée aussi bien en laboratoire que sur le terrain. Reportez-vous à la section Figure 1



*Figure 18 : Structure chimique de la DEHA*

### **Matériels et réactifs**

- HACHE DR900
- Ampoule AccuVac d'oxygène dissous, gamme basse
- Bécher, polypropylène, 50 ml, forme basse
- Sachets de poudre de réactif hydrosulfite
- Outil d'ouverture d'ampoule AccuVac
- Préleveur d'échantillon AccuVac
- Ampoules AccuVac pour blancs d'échantillon
- Bouchons pour tubes de 18 mm et ampoules AccuVac

### **Prise et stockage d'échantillons**

Lors de la prise d'échantillons, il est avant tout important d'éviter leur contamination par de l'oxygène atmosphérique.

- Les échantillons doivent être analysés immédiatement après leur prise et ne peuvent pas être conservés pour analyse ultérieure.
- Pour de meilleurs résultats, prélevez l'échantillon sur une alimentation en eau reliée directement à la source de l'échantillon par un système de plomberie.
- Utilisez un entonnoir pour assurer un débit continu de l'échantillon et pour collecter un volume suffisant pour remplir l'ampoule.
- N'introduisez pas d'air dans l'échantillon.
- Les tuyaux en caoutchouc, s'ils sont utilisés, introduisent une quantité inacceptable d'oxygène dans l'échantillon. Par conséquent, la longueur des tuyaux doit être réduite au strict minimum et le débit de l'échantillon poussé au maximum.
- Rincez le système d'échantillonnage avec de l'échantillon pendant environ 5 minutes.

### **Mode opératoire**

1. Lancez le programme 446 Oxygène, Dis LR AV. Pour plus d'informations sur les cuves d'échantillon, les adaptateurs ou les écrans protecteurs de la lumière.
2. Préparation du blanc : remplissez la cuve d'échantillon avec 10 ml d'échantillon.
3. Nettoyez la cuve d'échantillon de blanc.
4. Insérez le blanc dans le porte-cuve.
5. Appuyez sur ZERO (Zéro). L'affichage indique 0 µg/l O<sub>2</sub>.

6. Préparation de l'échantillon : plongez l'ampoule AccuVac dans l'échantillon pour la remplir. Pour de meilleurs résultats, prélevez l'échantillon sur une alimentation en eau reliée directement à la source de l'échantillon par un système de plomberie. Nettoyez immédiatement l'ampoule et remplacez-la dans le porte- cuve.
7. Appuyez sur le bouton READ (Mesure). Résultats affichés en  $\mu\text{g/l O}_2$ .

#### **4.3.6. Phosphate $\text{PO}_4$ (15)**

Au cours du traitement de l'eau brute est ajouté le phosphate pour maintenir l'alcalinité suffisante et éviter les phénomènes de corrosion. La concentration de  $\text{PO}_4^{3-}$  ajoutée ne doit pas dépasser une certaine valeur c'est-à-dire doit être conforme à la norme qui est de 15 à 30 mg/L. Pour cela son taux doit être déterminé après traitement.

##### **Matériels et réactifs**

- HACHE DR900
- Sachet de poudre de réactif PhosVer3 Phosphate, 10 ml
- Bécher, 50 ml
- Cuves d'échantillon.

##### **Prise et stockage d'échantillons**

- Recueillir des échantillons dans des bouteilles en verre ou en plastique propres qui ont été nettoyées avec de l'acide chlorhydrique et rincées avec de l'eau déminéralisée.
- N'utilisez pas de détergent contenant du phosphate pour nettoyer les bouteilles d'échantillon. Le phosphate dans le détergent contaminera l'échantillon.
- Analysez les échantillons dès que possible pour de meilleurs résultats.
- Si une analyse immédiate n'est pas possible, filtrez immédiatement et conservez les échantillons à ou en dessous de  $6\text{ }^\circ\text{C}$  ( $43\text{ }^\circ\text{F}$ ) pendant un maximum de 48 heures.
- Laissez la température de l'échantillon monter à température ambiante avant l'analyse.

##### **Mode opératoire**

1. Démarrez le programme 490PReact.
2. Préparation de l'échantillon : Placer un échantillon de 10 ml dans une cuvette d'échantillon.

3. Ajoutez le contenu d'un sachet de poudre de réactif PhosVer3 Phosphate dans la cellule. Si l'échantillon contient du phosphore, il deviendra **bleu**.
4. Fermez immédiatement la cellule d'échantillon. Agiter violemment pendant 20 à 30 secondes.
5. Démarrez le chronomètre de l'instrument. Le temps de réaction de 2 minutes commence. If the sample was digested using the Acid Persulfate digestion, a 10minute reaction period is necessary.
6. Préparation du blanc : Verser 10 ml d'échantillon dans la deuxième cuve.
7. Lorsque la minuterie expire, nettoyez le blanc.
8. Insérez une cuve vierge dans le porte-cuve.
9. Appuyez sur ZÉRO. L'écran affiche 0,00 mg/L  $\text{PO}_4^{3-}$
10. Nettoyez la cellule d'échantillonnage préparée.
11. Placer l'échantillon préparé dans le compartiment pour cuves.
12. Appuyez sur READ. Les résultats affichés en Mg / L  $\text{PO}_4^{3-}$

# Chapitre V

## 5. Résultats et discussions

Ce chapitre résume les résultats des paramètres physico chimiques de différent type d'eau (eau de forage, eau adoucie, bêche d'alimentation, eau de chaudière, condensat), leur valeurs journalières, moyennes ainsi que leur comparaisent au normes et leur interprétation.

Le tableau 7 résume les normes des paramètres du différent type d'eau

Tableau 7 : Norme des paramètres du différent type d'eau (16)

Paramètre		Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH	TH (ppm)	Fe (ppm)	DEHA (ppb)	$\text{PO}_4^{3-}$ (ppm)
Norme	Eau de forage	1000 - 1200	7 - 8,5	Max 500	/	/	/
	Eau adoucie	1000 - 1200	Max 8,5	Max 5	/	/	/
	Bêche d'alimentation	1000 - 1200	8 - 9,5	Max 5	/	Max 500	30 - 100
	Eau de chaudière	Max 4000	10,5 - 12,0	Max 10	Max 1	300 - 400	30 - 100
	Condensat	Max 50	8,5 - 9,2	Max 0,5	Max 0,1	/	15 - 50

### 5.1. Résultats journaliers de chaque type d'eau

Les tableaux 8 à 12 récapitulent les résultats journaliers des paramètres physico chimiques de chaque type d'eau.

Tableau 8 : Résultats d'analyse d'eau de forage

		EAU DE FORAGE		
		TH (ppm)	pH	Conductivité (µS/cm)
Normes	Date	Max 500	7 - 8,5	1000 - 1200
	01/03/2022	430	7,3	1150
	02/03/2022	439	7	1320
	03/03/2022	415	7,2	1150
	06/03/2022	420	7,4	1124
	08/03/2022	440	7,4	1140
	10/03/2022	415	7,3	1150
	15/03/2022	420	7,8	1164
	16/03/2022	425	7,9	1139
	19/03/2022	450	8,1	1243
	23/03/2022	478	8,1	1020
	25/03/2022	450	7,2	1233
	26/03/2022	461	7	1200
	Moyenne	436,9	7,5	1169,4

Tableau 9 : Résultat d'analyse de l'eau adoucie

		<b>L'EAU ADOUCIE</b>		
		<b>TH (ppm)</b>	<b>pH</b>	<b>Conductivité (<math>\mu</math>S/cm)</b>
<b>Normes</b>	<b>Date</b>	<b>Max 5</b>	<b>Max 8,5</b>	<b>1000 - 1200</b>
	01/03/2022	4	7,5	1240
	02/03/2022	0	8,1	1280
	03/03/2022	0	8,2	1270
	06/03/2022	2	7,8	1120
	08/03/2022	5	7,5	1080
	10/03/2022	10	7,7	1020
	15/03/2022	8	6,9	1200
	16/03/2022	4	7,3	1188
	19/03/2022	3	7,7	1205
	23/03/2022	14	7,5	1140
	25/03/2022	10	7,1	1120
	26/03/2022	11	7,9	1150
	<b>Moyenne</b>	<b>5,9</b>	<b>7,6</b>	<b>1167,8</b>



Tableau 10 : Résultats d'analyse de l'eau de la bache d'alimentation

		BACHE D'ALIMENTATION				
		TH (ppm)	pH	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (ppm)	DEHA (ppb)	Conductivité (µS/cm)
Normes	Date	Max 5	8 - 9,5	30 - 100	Max 500	1000 - 1200
	01/03/2022	20	7,7	23,7	500	1230
	02/03/2022	3	7,9	5,2	500	1460
	03/03/2022	5	7,8	11,2	500	1320
	06/03/2022	16	7,6	2,2	500	1360
	08/03/2022	15	8,1	5,6	500	1290
	10/03/2022	22	8,9	1,8	500	1480
	15/03/2022	310	8,6	2,1	500	1300
	16/03/2022	55	8,5	2,5	500	1450
	19/03/2022	15	8,1	3,1	500	1360
	23/03/2022	18	8,6	5,5	500	1150
	25/03/2022	12	8,9	0,4	500	1210
	26/03/2022	8	8,6	1,3	500	1090
	Moyenne	41,6	8,3	5,4	500	1308,3

Tableau 11 : Résultats de l'eau de chaudière

		EAU DE CHAUDIERE					
		TH (ppm)	Fe (pm)	DEHA (ppb)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (ppm)	pH	Conductivité (µS/cm)
Date	Normes	Max 10	Max 1	300 - 400	30 - 100	10.5 - 12,0	Max 4000
	01/03/2022		5	0,12	210	11.3	13,1
02/03/2022		0	0,09	430	6.5	12,8	3150
03/03/2022		6	0,09	435	25.8	11,7	3550
06/03/2022		8	0,08	281	18.8	11,3	3283
08/03/2022		8	0,03	485	9.5	11,5	4585
10/03/2022		18	0,14	459	3.3	11,8	3789
15/03/2022		85	0	504	2.8	11,7	3136
16/03/2022		5	0,06	424	1.6	11,8	4021
19/03/2022		7	0,23	281	1.8	11,8	3420
23/03/2022		16	0,14	345	2.3	12,0	3420
25/03/2022		11	0,15	541	1.2	11,9	3330
26/03/2022		5	0	255	10,3	12,1	3210
Moyenne		14,5	0,1	387,5	10,3	12,0	3545,3

Tableau 12 : Résultats d'analyse du condensat (l'eau de retour)

		CONDENSATE				
		TH (ppm)	Fe (ppm)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (ppm)	pH	Conductivité (μS/cm)
Normes	Date	Max 0,5	Max 0,1	15 - 50	8,5 - 9,2	Max 50
	01/03/2022	0	0,06	6,8	9,1	40
	02/03/2022	0	0,03	0,9	8,7	35
	03/03/2022	0	0,05	0,5	8,4	50
	06/03/2022	0	0,04	0,3	8,4	20
	08/03/2022	0	0,03	0	8,2	25
	10/03/2022	0	0,06	0,1	9,2	30
	15/03/2022	0	0,03	0	8,8	45
	16/03/2022	0	0,03	0	8,5	55
	19/03/2022	0	0,05	0	8,7	50
	23/03/2022	0	0,06	0,1	8,4	60
	25/03/2022	0	0,17	0,2	8,2	50
	26/03/2022	0	0,08	0,1	8,1	45
	Moyenne	0,0	0,06	0,91	8,6	42,1

## 5.2. Résultats de valeur moyenne paramètres du différent type d'eau

Les figure de 18 à 23 représentent les valeurs moyennes des paramètres du différent type d'eau.

### 5.2.1. Résultat de la conductivité

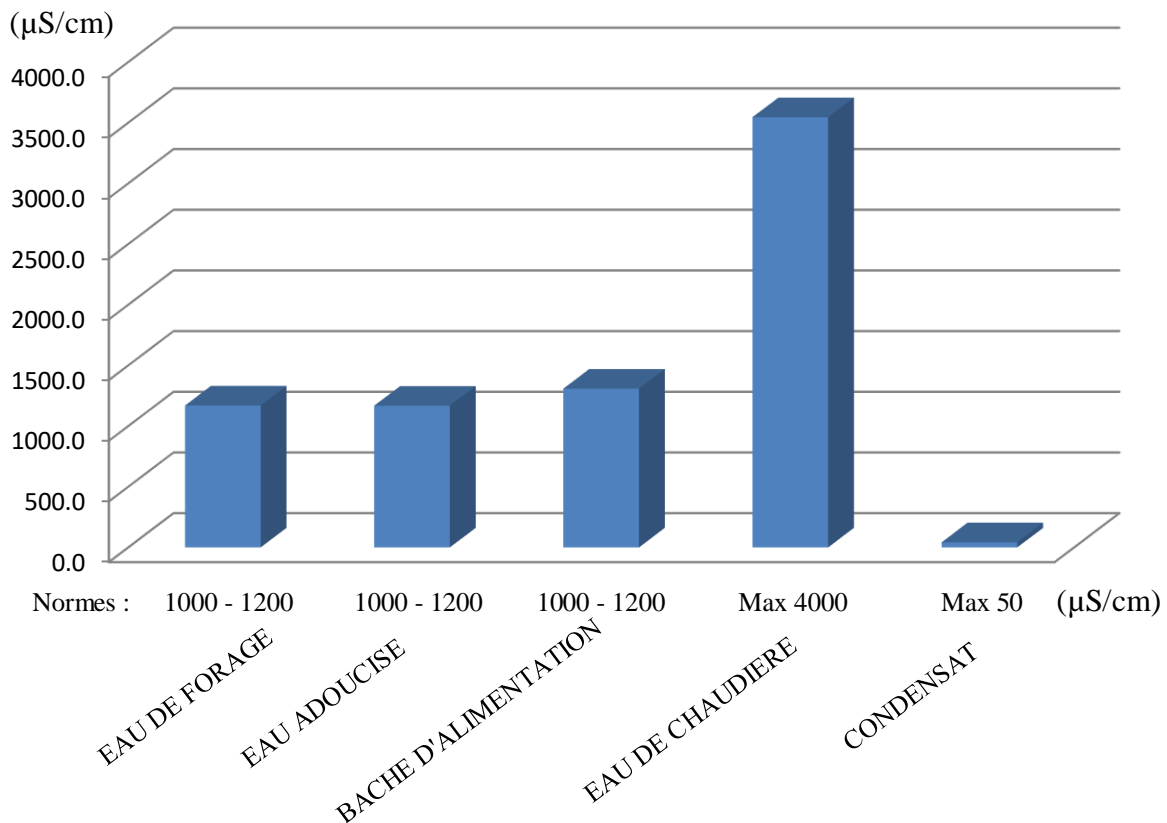


Figure 19 : Résultats de la conductivité électrique en  $\mu\text{S}/\text{cm}$

La figure 18 représente les moyennes de la connectivité électrique dans les différentes types d'eaux, les résultats montrent que la connectivité électrique de l'eau de forage (1169.4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), l'eau adoucie (1167.8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), l'eau de chaudière (3545.3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et de condensat (42.1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) sont conforme à la norme prescrite d'APM.

D'autre part la conductivité électrique de l'eau de la bache d'alimentation de la chaudière (1308.3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) est non conforme à la norme, cela est dû à l'ajout de produit chimique « Amersite » (Base DEHA) pour éliminer l'oxygène.

### 5.2.2. Résultats des pH

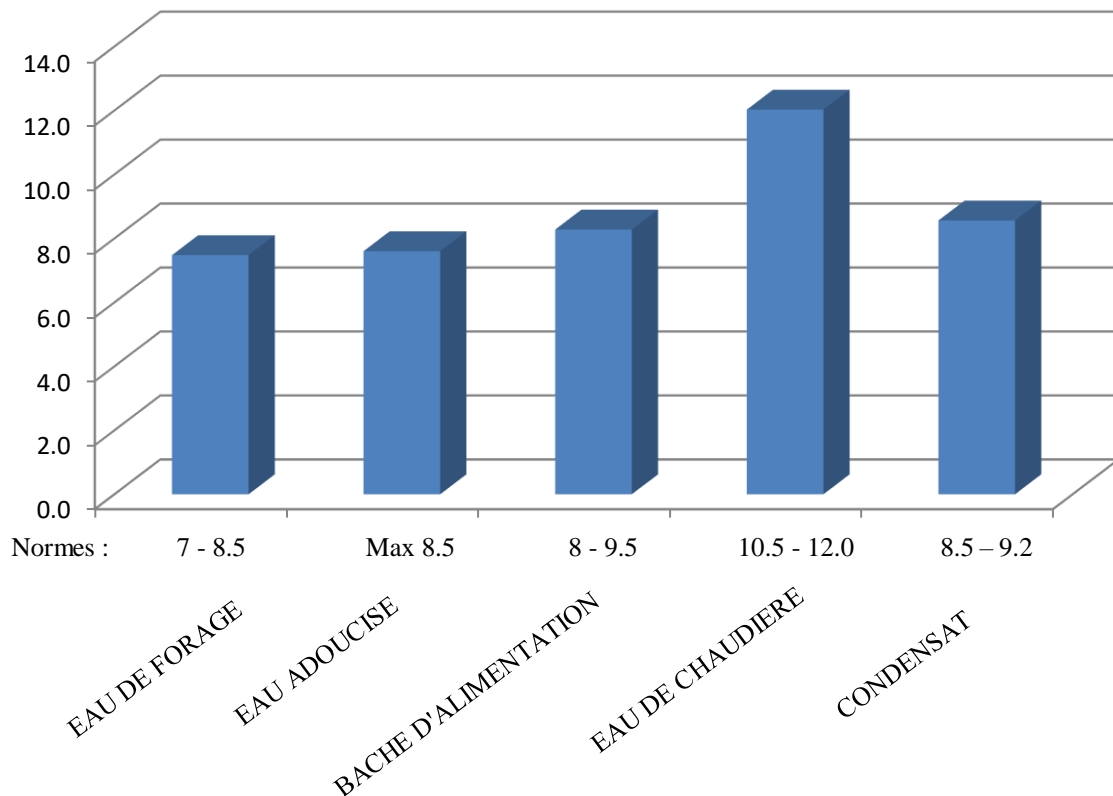


Figure 20 : Résultats des pH des eaux analysées

L'analyse de ces résultats montre qu'au cours du traitement durant ce mois de mars, la moyenne des pH de l'eau de forage (7,5), l'eau adoucie (7.6), de l'eau de la bâche d'alimentation de la chaudière (8.3), eau de chaudière (12.0), condensat (8.6) sont conformes à la norme prescrite d'APM. Ce qui peut s'expliquer par un bon traitement de l'eau.

Ce traitement se fait par une purge continue chaque deux heures tous les jours automatiquement au niveau de la chaudière (une purge de la chaudière permet de chasser l'eau présent dans tout le système de chauffage centrale et ainsi d'améliorer l'efficacité de divers équipement) et par une injection de l'Amcor (neutralisant l'acidité du condensat) à la ligne de retour du condensat.

### 5.2.3. Résultats de la dureté totale (TH)

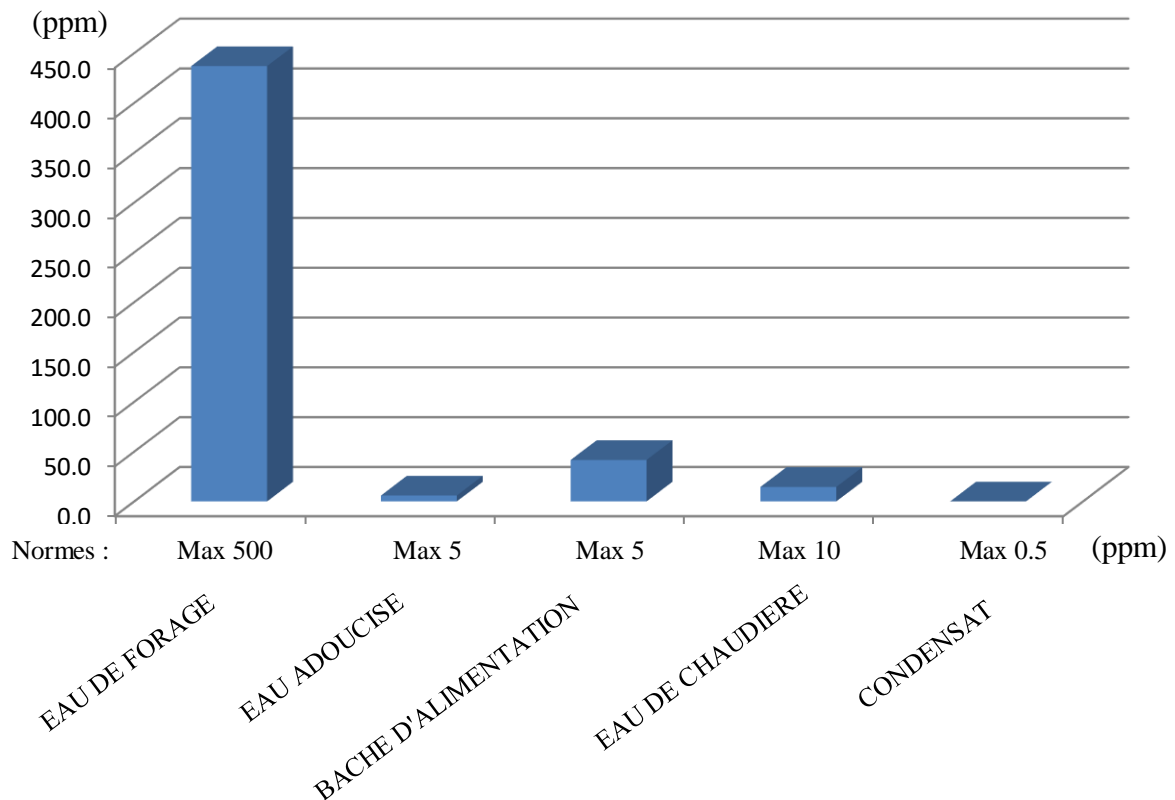


Figure 21 : Résultats d'évolution du TH en ppm

Dans La figure 20 en remarque que les duretés de l'eau de forage (436.9 ppm) et le condensat (0.0 ppm) sont conformes aux normes. En revanche celle de l'eau adoucie (5.9 ppm), l'eau de la bache d'alimentation (41.6 ppm) et l'eau de chaudière (14.5ppm) sont hors de norme. Cela s'implique par le fait de manque du sodium sur la résine et saturation par les ions  $Mg^{++}$  et  $Ca^{++}$ .

On recommande une régénération régulière et efficace des résines échangeuse d'ions pour maintenir le TH à la norme et maintenir aussi la quantité de sels ajoutés dans le bac à sel pour assurer une bonne régénération. Au niveau de la bache d'alimentation de la chaudière la dureté augmente automatiquement en raison du manque de phosphate, en recommande une injection du « Drewtrol » dans la bache d'alimentation.

Et pour l'eau de chaudière le produit chimique responsable pour la protection interne « Drewtrol » (traitement intérieur est un produit antitartre concentré pour chaudière) contient

la soude et ce dernier augmenter le pH de l'eau de chaudière, pour éviter cette augmentation il faut diminuer le débit de dosage de ce produit (30 ml/h) dans la chaudière.

On recommande une purge manuelle chaque heure jusqu'à la diminution de la dureté de l'eau de chaudière.

#### 5.2.4. Résultats du Fer

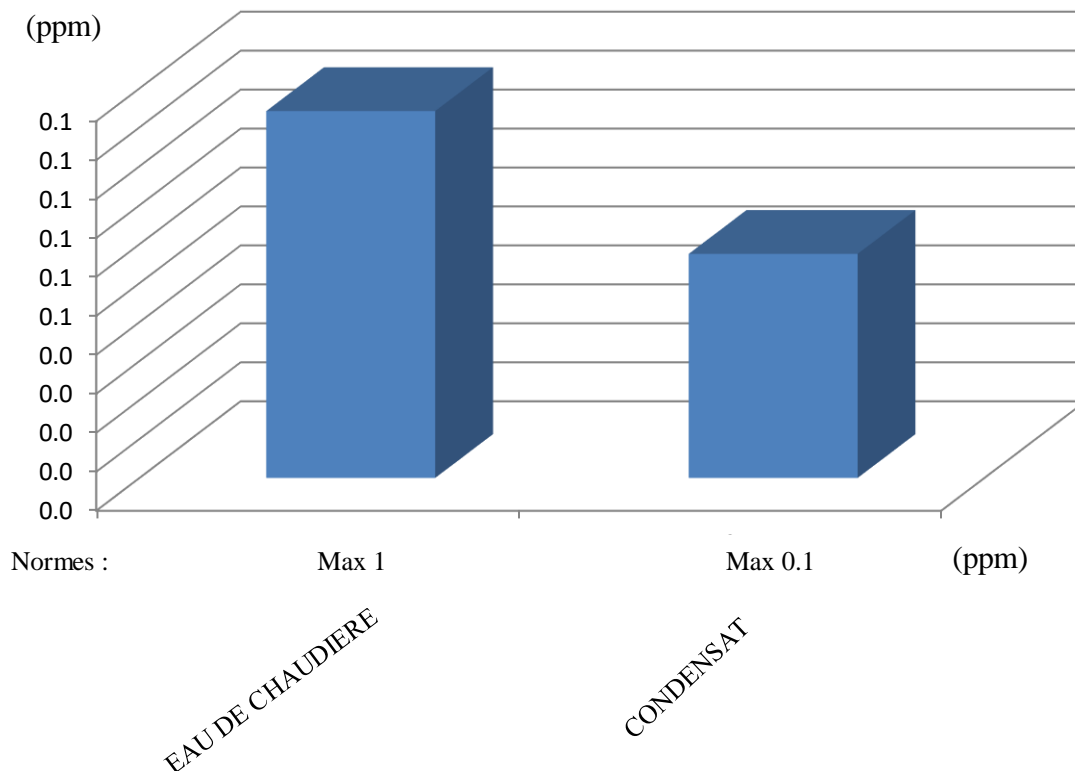


Figure 22 : Résultats du fer en ppm

L'analyse des résultats montre que la moyenne du fer de l'eau de chaudière (0.1 ppm) et du condensat (0.06 ppm) sont conformes à la norme.

Ces résultats peuvent s'expliquer aussi par le respect des règles d'analyse au niveau du laboratoire. Cependant, lorsque le taux de fer ne reprend pas la norme cela entraîne l'accumulation en chaudière d'oxydes métalliques qui risquent de former des dépôts poreux, et par suite, de donner lieu à ces phénomènes de corrosion sous dépôts, il convient de veiller à ce que la teneur en oxydes de fer de l'eau alimentaire ne dépasse pas le maximum indiqué.

### 5.2.5. Résultats de la DEHA

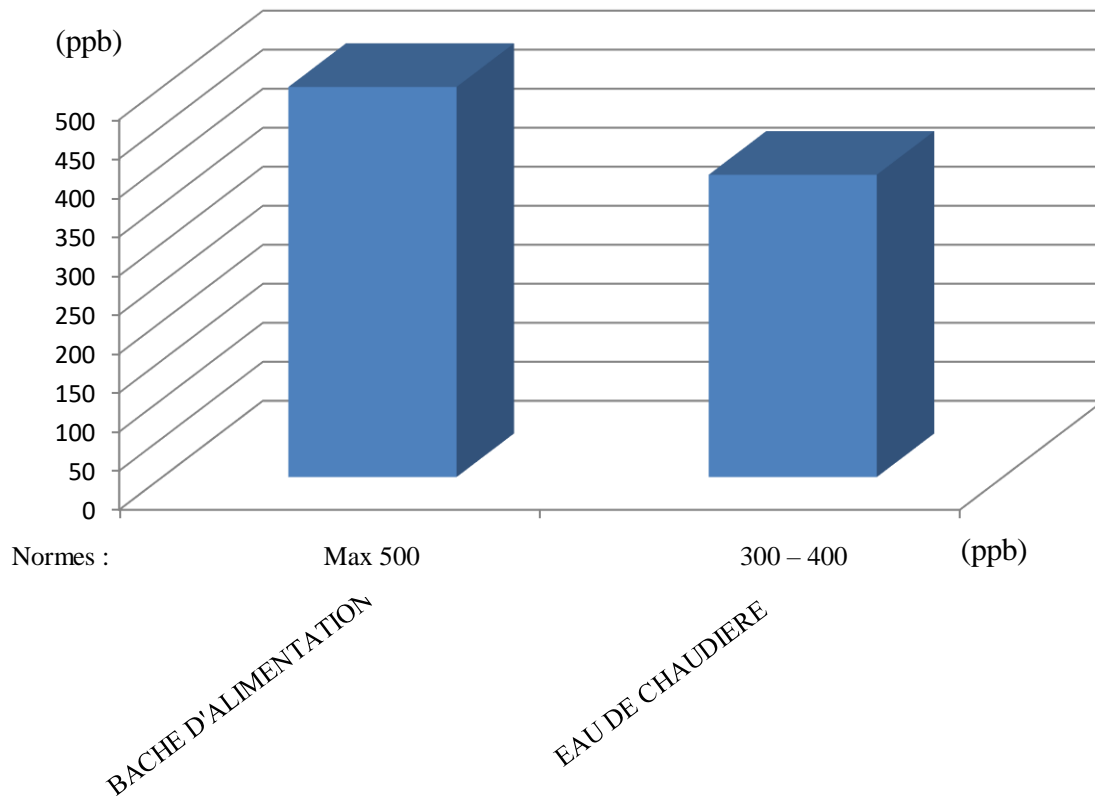


Figure 23 : Résultats de la DEHA en ppb

L'analyse des résultats montre que la moyenne de la DEHA de l'eau de chaudière (387.5 ppb) est conforme à la norme, par contre ceux de la bache d'alimentation la dépassent (>500 ppb) cela est due au fait que l'amersit réagit jusqu'à ce qu'il atteigne la chaudière.



### 5.2.6. Résultats du taux de Phosphate

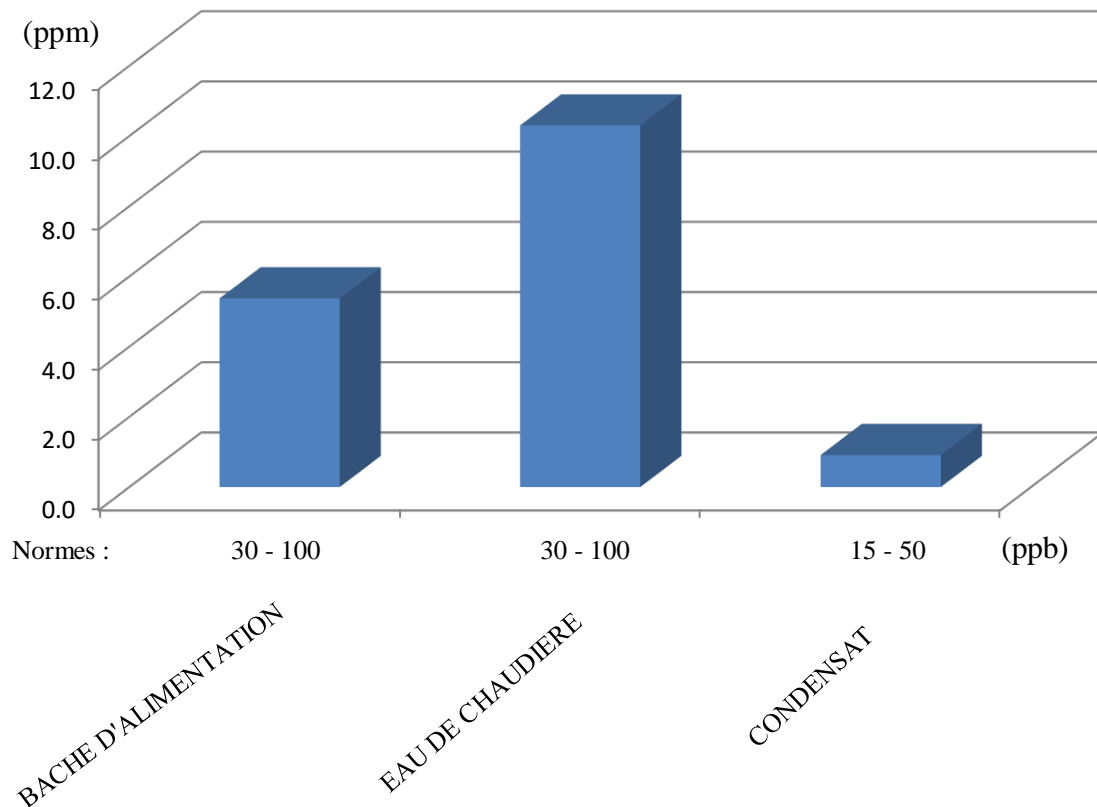


Figure 24 : Résultats du phosphate en ppm

L'analyse des résultats montre que les valeurs moyennes du  $\text{PO}_4$  de la bache d'alimentation (5.4 ppm), l'eau de chaudière (10.3 ppm) et du condensat (0.9 ppm) sont hors normes, Cela s'explique par la faible concentration du phosphate injecté « Drewtrol » (traitement intérieur est un produit antitartre concentré pour chaudière et aussi il contient la soude c'est pour sa la faible concentration injecté), La présence de phosphates permet de maintenir dans l'eau une alcalinité suffisante afin d'éviter les phénomènes de corrosion dus à la présence de soude caustique, et de précipiter sous forme non incrustante la dureté pouvant être introduite en chaudière. Et comme les valeurs de pH de ces eaux respectent la norme alors cette faible concentration de phosphate n'influencera pas négativement le traitement.

# Conclusion

La formation au niveau de l'unité APM a permis une meilleure compréhension du milieu professionnel et un approfondissement des connaissances théoriques tout au long de la formation.

Les résultats obtenus après les analyses au laboratoire des échantillons prélevés pendant la période du stage à la sortie de forage, à la sortie d'adoucisseurs, bache d'alimentation, l'eau de chaudière et l'eau de retour (le condensat) montrent que les paramètres de ces échantillons ne sont pas tous conformes à la norme.

En outre, la conductivité électrique au niveau de la bache d'alimentation est hors norme à cause de l'ajout de produit chimique « Amersite », pour cela on recommande de diminuer l'injection d'amersite.

Pour la dureté totale elle est pas conforme à la norme au niveau de l'adoucisseur, bache d'alimentation et la chaudière. Ceci est le résultat d'un manque des sels dans le bac à sel pour la régénération et la faible injection de « Drewtrol » au niveau de la bache d'alimentation et la chaudière.

La DEHA élevée à la bache d'alimentation est due au fait que l'amersite réagit jusqu'à ce qu'il atteigne la chaudière.

Le manque de phosphate au niveau de la bache d'alimentation, la chaudière et le condensat s'explique par la faible concentration de phosphate injecté « Drewtrol » (traitement intérieur est un produit antitartre concentré pour chaudière et aussi il contient la soude).

À la fin, on recommande d'assurer la présence des sels pour une bonne régénération de l'adoucisseur, une purge manuelle chaque heure jusqu'à la diminution de la dureté de l'eau de chaudière et de remplacer le produit chimique « Drewtrol » (phosphate) par ce qu'il contient de la soude et ce dernier augmente le pH de l'eau.

**Référence**

**Bibliographique**

## 7. Référence Bibliographique

1. Magdi, ahmed. Steam System and Yankee. rouiba : s.n., 2019.
2. Nivelon, Sylvie. Gestion de l'eau pour la fabrication des papiers et cartons. 2014.
3. Cheret, Sarah. Les grandes catégories d'usages de l'eau dans l'industrie . Le Pecq France : s.n., 2017.
4. V, Ghia. Récupérateurs et régénérateurs de chaleur. Paris : s.n., 1970.
5. Rodier, Jean. L'analyse de l'eau. DUNOD, PARIS : 9ème Edition, 2009.
6. Depauw, Jean-Pierre. Différents types de chaudières industrielles . 2010.
7. Roustan, Michel. Caractéristiques et propriétés des eaux - Eau pure, eaux naturelles . Paris : s.n., 2011.
8. Solenise. THE CHEMISTRY USED IN PRODUCTS & PRINCIPLES TRAINING. paris : s.n., 2019.
9. Mr.LOUAHABE. Coure de corrosion . boumerdes : s.n., 2009.
10. Rachad. détection de potentiel et anomalie à la station de traitement des eaux de procès et optimisation de l'ajout de réactif. alger : s.n., 2012.
11. Smith, Steven. Feed tank. Miura America Co. [En ligne] 2022.
12. lenntech. lenntech. [En ligne] lenntech, eaurop, pays bas , 2022.  
<https://www.lenntech.fr/applications/process/boiler-feed-water/boiler-blowdown.htm>.
13. Nady, Houssam. tissue machine. alger : s.n., 2019.
14. Hach company. titrimètre digitale. modèle 16900. U.S.A. : s.n.
15. Hache company. Hach lange. DR 900 . 2013. DOC022.98.80344.
16. Norme des paramètres du différent type d'eau à l'unité . rouiba : s.n., 2019.

# Annexes

### 8.1. Annexe : certain équipement de l'unité

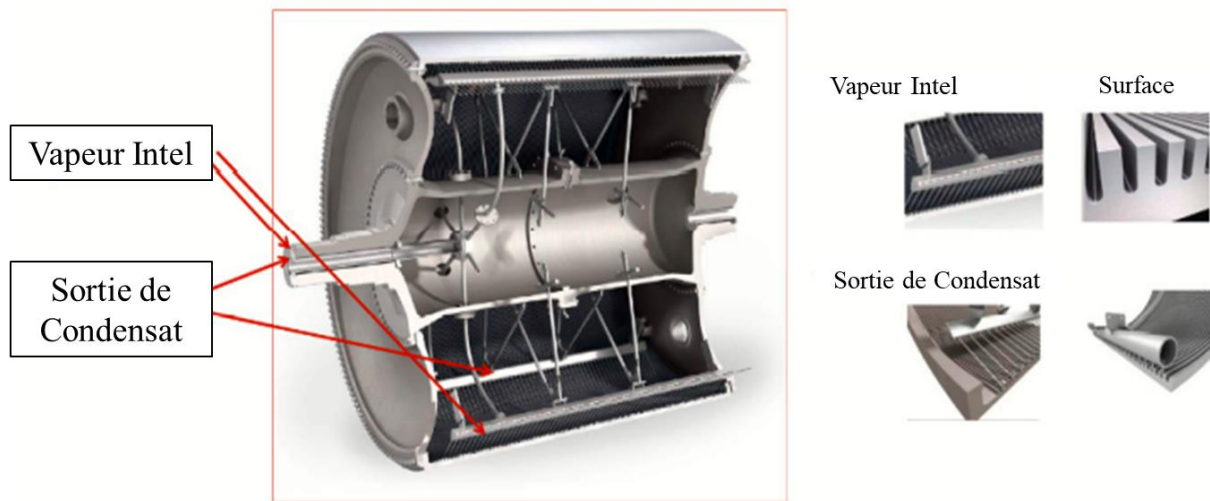


Figure 25 : L'intérieur de séchoir yankee



Figure 26 : Chaudière de l'unité