

Faculté des Sciences de l'Ingénierat
Département de Génie des Procédés

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de **Master**
Option : Génie des procédés de l'environnement

**ETUDE THEORIQUE ET EXPERIMENTALE DE LA
PRODUCTION ET L'UTILISATION DES EAUX DANS
L'INDUSTRIE
CAS : COMPLEXE SIDERURGIQUE -EL HADJAR**

Présenté par :

Bouraoui Meriem

DIRECTEUR DE MEMOIRE : GUILANE Sarah, Docteur Université BM- Annaba

Devant le jury :

Président : ZERDAOUI MOSTEFA, Professeur, Université B M-Annaba

Membre: SAYOUD NASSIM, Docteur, Université B M-Annaba

Année universitaire : 2019

Remerciements

En préambule à ce mémoire

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant, qui nous a donné la force, la patience et le courage d'accomplir ce modeste travail ;

Un grand merci à notre promotrice Dr. Guilane Sarah pour le temps qu'elle nous à accorder, Ainsi pour sa grande Aide et ces conseils judicieux.

Nous tenons à présenter notre vif remerciement à tous les membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce travail.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à nos chers parents nos frères et sœurs et tous nos proches amis,

Qui nous ont toujours soutenue et encouragé

Au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous.

DEDICACE

A la plus belle créature que Dieu a créée sur terre à cette source de tendresse, de patience et de générosité, **A ma très chère maman Aoun Naima!** Pour toutes ses sacrifices, son amour, sa tendresse, son soutien et ses prières tout au long de mes études. Merci Maman pour ta présence à mes cotes en *toutes circonstances je t'aime mon ange ;*

A mon cher père Bouraoui Nouri qui peut être fier et trouve ici le résultat des longues années de sacrifices. Merci pour tes conseils qui ont toujours guidé mes pas vers la réussite .Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit. Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi ;

À ma sœur Hiba. Tu occupes une place unique dans ma vie, tu es ma *copine de cœur, je t'offre aujourd'hui cette pensée pour confirmer toute l'importance que tu as à mes yeux.* Puisse Dieu te garder, éclairer ta route et *t'aider à réaliser à ton tour tes vœux les plus chers ;*

A mes frères Aymen et Achref qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité ;

A la mémoire de la reine des grands-mères. A ma mamie adorée *Aujourd'hui ta petite fille a grandi et t'offre ce modeste travail, qu'il soit l'expression des vœux que tu n'as cessé de formuler dans tes prières. J'aurais tant aimé que vous soyez présents. Que Dieu ait vos âmes dans sa sainte miséricorde.*

A mes chères tante Linda et Amina ainsi que ses enfants Imene Amine et Doua, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral ;
A tous nos amis et collègues

A tous les étudiants de la promotion 2018/2019 ; Option : génie des

procédés de l'environnement.

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

TABLE DES MATIERES

Remerciement	
Dédicace	
Table des matières	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Résumé	
INTRODUCTION GENERALE	2
PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
Introduction	5
I.1 LES GRANDES CATEGORIES D'USAGE DE L'EAU DANS L'INDUSTRIE	5
I.1.1 L'eau est une utilité	5
I.1.2 L'eau intervient dans le processus de fabrication	5
I.2 USAGE SPECIFIQUE DE L'EAU DANS L'INDUSTRIE SIDERURGIQUE	6
I.3 LES DIFFERENTS TYPES D'EAU INDUSTRIELLES	6
I.4 TRAITEMENT DES EAUX INDUSTRIELLES	6
I.4.1 Prétraitement	6
I.4.1.1 Le dégrillage	7
I.4.1.2 Le dessablage	7
I.4.1.3 Déshuilage dégraissage	7
I.4.2 Traitement primaire	7
I.4.2.1 La décantation physique	8
I.4.2.2 La décantation physico-chimique	8
I.4.2.3 La flottation	8

I.4.2.4 Chloration des eaux	8
II. LES CHAUDIERES	9
II.1 TYPE DES CHAUDIERES	9
II.1.1 Leur fonction	9
II.1.2 Leur architecture interne	10
II.2. COMPOSITION DES EAUX NATURELLES	10
II.2.1. Sels minéraux	10
II.2.2. Les gaz dissous	11
II.2.3. Les matières organiques	12
II.3. RESSOURCES HYDRAULIQUES NATURELLES	12
II.3.1. Eaux de mer	12
II.3.2. Eaux souterraines	13
II.4. QUALITE D'EAU NECESSAIRE A L'ALIMENTATION DES CHAUDIERES	14
II.5. PROBLEMES PROVOQUES PAR LES IMPURETES DE L'EAU	14
1. Corrosion	14
1.1 Morphologie de la corrosion	14
1.1.1. Corrosion uniforme	14
1.1.2. Corrosion par piqûres	15
1.1.3. Corrosion inter-granulaire	15
1.2. Corrosion dans la chaudière	15
1.2.1. Corrosion par l'oxygène	15
1.2.2. L'attaque par le dioxyde de carbone	15
1.2.3. Corrosion galvanique	16
1.2.4. Corrosion caustique	16

1.2.5. Corrosion -érosion	16
1.2.6. Abrasion -corrosion	17
1.2.7. Cavitation	17
1.2.8. Fragilisation par l'hydrogène	17
1.2.9. Corrosion sous tartre	17
1.2.10. Phénomène particuliers de la corrosion en chaudières : corrosion à haute Température	17
1.3. Inconvénient dus à la corrosion	18
2. Les incrustations	18
2.1. Origine de dépôts	19
2.2. Paramètres contrôlant l'entartrage	20
2.3. Inconvénients du tartre	20
3. Le primage	20
3.1. Inconvénients	21
4. L'entraînement dans la vapeur de corps minéraux	21
II.4. TRAITEMENT D'EAU DE CHAUDIERE	21
II.4.1. Traitement externe	21
II.4.2. Traitement interne	22
Conclusion	23
PARTIE II : PARTIE EXPERIMENTALE	
Introduction	25
I. Présentation du complexe	25

I.1 Historique du complexe	25
I.2 Situation géographique du complexe	26
I.3 Principales activités du complexe	27
I.4 Organigramme du complexe	27
II. La division fluide	29
II.1 Organisation de la division des fluides	29
II.2. LA PRODUCTION ET L'UTILISATION DE L'EAU INDUSTRIELLE AU NIVEAU DE L'UNITE FLUIDE COMPLEXE SIDERURGIQUE D'EL HADJAR	30
II.2.1 La production des eaux industrielles	30
II.2.2. Utilisation de l'eau industrielle	32
II.3. LA PRODUCTION ET L'UTILISATION DE L'EAU DEMINERALISEE	32
II.3.1 La production des eaux déminéralisées	32
II.3.2. Les procédés membranaires	33
II.3.2.1. Principe de filtration par membrane	33
II.3.2.2. Les techniques membranaires à gradient de pression	34
1. La microfiltration	35
2. La nanofiltration	35
3. L'ultrafiltration	35
3.1 Principe de l'ultrafiltration	35
3.2 L'installation	35

3.3 Les membranes	36
4. L'osmose inverse	36
4.1 Définition de l'osmose	36
4.2 Définition de l'osmose inverse	36
4.3 Mécanisme de transfert	37
4.4. Présentation des membranes d'osmose inverse	37
4.4.1. Définition des modules d'osmose inverse	37
4.4.2. Définition et description des membranes d'osmose inverse	37
4.4.3. Durée de vie des membranes d'osmose inverse	38
4.4.4. Limitation de l'osmose inverse	39
4.4.4.1. Colmatage des membranes	39
4.4.4.2. Colmatage par entartrage	40
4.4.5. Le nettoyage et décolmatage des membranes	40
4.4.5.1. Méthodes de décolmatage des membranes	40
1. Méthode physiques de décolmatage	40
1.1. Backflush (rétrolavage ou contre lavage)	40
1.2. Backpulse	41
1.3. Décolmatage par ultrasons	41
II.3.3. Utilisations de l'eau déminéralisée	41
III. ANALYSE ET CONTROLE DE LA QUALITE DES EAUX	42
III.1. PRESENTATION DU LABORATOIRE SIDERURGIQUE	42

III.2. PARAMETRES PHYCICO-CHIMIQUE ANALYSES	42
III.2.1. Alcalinité	42
III.2.2. La dureté	43
III.2.3. Teneur en Chlorures	44
III.2.4. pH	44
III.2.5. Conductivité	44
III.2.6. Turbidité	44
III.2.7. Température	46
III.2.8. TDS	46
III.3. TYPES D'EAUX ANALYSEES	46
III.3.1. Eau brute	46
III.3.2. Eau usée industrielle	46
IV. DETERMINATION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	46
IV.1. DETERMINATION DU TITRE HYDROMETRIQUE « TH »	47
IV.2. DETERMINATION DE L'ALCALINITE « TA - TAC »	48
IV.3. DETERMINATION DU TITRE CALCIQUE	49
IV.4. DOSAGE Du CHLORURE	50
IV.5. DETERMINATON DE pH	51
IV.6. DETERMINATION DE LA CONDUCTIVITE	52
IV.7. DETERMINATION DES MATIERES EN SUSPENSION	52
V. RESULTATS ET DISCUSSION	53
L'alcalinité TA	53
TAC	55
TH	56
TCa ²⁺ et TMg ²⁺	57

TABLE DES MATIERES

Cl ⁻	59
pH	60
TDS	61
Température	62
Conductivité	63
Conclusion	64
CONCLUSION GENERALE	66

LISTE DES FIGURES

Figure II.1 : Image satellite du complexe	26
Figure II.2 : Organigramme du complexe	28
Figure II.3 : Organisation de la division fluide	29
Figure II.4 : La brise charge	30
Figure II.5 : Décanteur	31
Figure II.6 : Installation d'ultrafiltration	33
Figure II.7 : Installation d'osmose inverse	33
Figure II.8 : Procédé de séparation membranaire tangentiel	34
Figure II.9 : Classification des procédés baromatiques membranaires selon la taille de séparation	34
Figure II.10 : Membrane colmatée	39
Figure II.11 : Absence de Ca^{2+} et Mg^{2+}	47
Figure II.12 : Présence de Ca^{2+} et Mg^{2+}	47
Figure II.13 : Dosage volumétrique de TAC	49
Figure II.14 : Dosage de Ca^{2+}	50
Figure II.15 : Présence de Cl^-	51
Figure II.16 : Variation du titre alcalimétrie simple TA des trois eaux (brute, industrielle et déminéralisée)	54
Figure II.17 : Variation du titre alcalimétrie complet TAC des trois eaux (brute, industrielle et déminéralisée)	55
Figure II.18 : Variation de la dureté totale TH des trois eaux (brute, industrielle et déminéralisée)	56

Figure II.19 : Variation de la dureté calcique TCa^{2+} des deux eaux (brute et industrielle)	58
Figure II.20 : Variation de la dureté magnésienne TMg^{2+} des deux eaux (brute et industrielle)	58
Figure II.21 : Variation des chlorures de l'eau brute et industrielle	59
Figure II.22 : Variation du pH des trois eaux (brute, industrielle et déminéralisée)	60
Figure II.23 : Variation de TDS des trois eaux (brute, industrielle et déminéralisée)	61
Figure II.24 : Variation de la température de l'eau brute et industrielle	62
Figure II.25 : Variation de la conductivité électrique de l'eau brute et industrielle	63

LISTE DES TABLEAUX

Partie I : Etude bibliographique

Tableau I.1 : Composition des eaux naturelles en sels minéraux 10

Tableau I.2 : Concentration des différents ions d'une eau de mer 12

Tableau I.3 : Caractéristiques des eaux souterraines 13

Tableau I.4 : Caractéristiques des eaux de chaudière (valeurs courantes) 14

Partie II : Partie expérimentale

Tableau II.5 : Principales activités du complexe 27

Tableau II.6: Classe de turbidité usuelle 45

**Tableau II.7 : Paramètres physico-chimiques étudiés et méthodes de mesure
utilisées 45**

INTRODUCTION GENERALE

L'histoire du développement industriel s'est construite en partenariat avec l'eau. Les usines se sont toujours implantées au bord de l'eau (rivière, canal, mer) pour des raisons diverses.

L'eau réunit un ensemble exceptionnel de propriétés physiques et chimiques : elle peut devenir solvant, fluide thermique ou tout simplement liquide facile à manipuler. C'est ce qui explique pourquoi l'eau est impliquée dans la plupart des fabrications industrielles [1].

Les usages de l'eau sont extrêmement variés dans l'industrie en général et même au sein d'un établissement, ce qui entraîne des contraintes de qualité très diverses, de la vaporisation en passant par le lavage de gaz ou de solides, ou l'échange thermique.

Les ressources de l'eau disponibles à savoir les eaux souterraines (nappes phréatiques et profondes exploitées par des puits ou des forages) et les eaux de surface retenues ou en écoulement (barrages, lacs et rivières) répondent malheureusement rarement à l'ensemble de ces contraintes. En outre, la qualité de la ressource peut subir des perturbations dont il convient d'évaluer les incidences. Pour toutes ces raisons, on est contraint très souvent de procéder à un traitement de l'eau avant utilisation.

Le traitement de l'eau d'alimentation de chaudière est extrêmement critique, car de nombreux problèmes peuvent résulter de l'utilisation d'eau non traitée dans des environnements de pression et de température extrêmes qui peuvent résulter en une efficacité moindre en termes de transfert de chaleur, de surchauffe, de dommages et de coûts élevés de nettoyage.

Les procédés membranaires font partie des nouvelles technologies qui peuvent jouer un rôle environnemental important. Ces procédés permettent la production d'eau destinée soit à la consommation humaine (dessalement de l'eau) soit aux industries (réutilisation de l'eau) qui consomment de l'eau de pureté contrôlée dans leur chaîne de production. L'utilisation des techniques membranaires connaît une croissance rapide, en raison notamment de la multiplication des domaines d'application. Ce développement devrait s'amplifier encore, du fait de l'émergence des problématiques liées à la préservation de la ressource (production durable), de l'environnement (dépollution des effluents industriels) et grâce aux performances énergétiques et technico-économiques de ces nouveaux procédés de séparation.

L'Osmose Inverse (OI) et la Nanofiltration (NF) sont des opérations de séparation par membranes pour lesquelles la force de transfert est un gradient de pression. Ces membranes peu ou pas poreuses jouent un rôle très important dans le traitement de l'eau. Dans certains cas, ces membranes sont également utilisées comme étapes de finition après l'ultrafiltration et/ou la microfiltration lors du traitement des fluides. Le problème le plus aigu des séparations par membranes des fluides concerne leur colmatage qui réduit leur productivité et donc concoure à augmenter les dépenses d'énergie, à accroître la fréquence des lavages et à réduire éventuellement leur durée de vie.

Le colmatage est un phénomène complexe faisant intervenir à la surface, des phénomènes physiques (accumulation de particules), chimiques (adsorption, précipitation...), indépendants ou couplés.

L'objectif de ce travail consiste dans un premier temps à réaliser une étude théorique et expérimentale sur la production et l'utilisation des eaux dans l'industrie et de suivre dans un deuxième temps, la qualité physico-chimique de l'eaux brutes, industrielle et osmosée produites et distribuer par l'unité fluide du complexe sidérurgique d'El-Hadjar.

Pour ce faire, ce présent travail est subdivisé principalement en deux parties :

La première partie est une étude bibliographique sur les généralités des eaux industrielles et les chaudières aussi les différents procédés de traitement que doivent subir les eaux brutes.

La seconde partie est axée sur l'expérimentation:

- ✓ Les procédés membranaires utilisés au niveau de l'unité des fluides ;
- ✓ La description des matériels et des méthodes analytiques examinés dans cette étude ;
- ✓ Les résultats expérimentaux trouvés et leurs interprétations.

PARTIE I

Etude Bibliographique

INTRODUCTION

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

Cette consommation d'eau varie selon les pays et les secteurs d'activité. 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.

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

I.1 LES GRANDES CATEGORIES D'USAGES DE L'EAU DANS L'INDUSTRIE

I.1.1 L'eau est une utilité

Elle participe de façon indirecte à la production en tant que fluide thermique (production de vapeur, eau chaude, eau de refroidissement, eau glacée...). Pour cet usage, l'eau véhicule et échange la chaleur et le froid au sein d'un site industriel. Les contraintes de qualité de l'eau dans ce type d'applications ne sont pas dépendantes de la nature de l'industrie, mais elles sont liées aux caractéristiques intrinsèques de la chaudière, du circuit de refroidissement ou du circuit d'eau glacée.

I.1.2 L'eau intervient dans le processus de fabrication

L'eau est utilisée au sein même des procédés industriels comme solvant, matière première, agent de fabrication ou fluide de nettoyage des équipements ou du produit fabriqué. Dans ces applications, les critères de qualité de l'eau dépendent directement du procédé industriel et sont spécifiques aux industries concernées. Des spécifications qualitatives sont alors émises soit par les centres techniques du métier, soit par les services ingénierie des grands groupes industriels, soit également par la réglementation dans le cas notamment des industries alimentaires ou de l'industrie pharmaceutique.

En tant que fluide de nettoyage des équipements, l'eau permet de préparer et de véhiculer les solutions de nettoyage (lessives ou produits désinfectants), d'effectuer les rinçages et d'évacuer les salissures.

I.2. USAGE SPECIFIQUES DE L'EAU DANS L'INDUSTRIE SIDERURGIQUE

L'industrie sidérurgique est une grande consommatrice d'eau, notamment pour effectuer des refroidissements à différentes étapes de la fabrication de l'acier.

Il faut distinguer deux grandes utilisations de l'eau dans cette industrie :

- **Le refroidissement indirect**, par des échangeurs ou des circuits semi-ouverts de lavage de gaz, souvent soumis à des températures de l'eau élevées. Les eaux d'appoint selon les cas seront décarbonatées ou déminéralisées. Ces circuits peuvent aussi être fermés ;
- **Le refroidissement direct**, soit en lavage de gaz, soit pour son action mécanique, notamment dans les opérations de décalaminage, granulation et aspersion dans les étapes de laminage, dans lesquels l'eau se salit et doit être constamment traitée dans le circuit.

I.3. LES DIFFERENTS TYPES D'EAUX INDUSTRIELLES

Les eaux résiduaires industrielles se différencient, en diverses catégories selon l'utilisation de l'eau :

- **Eaux générales de fabrication ou de procédé** : La plupart des procédés conduisent à des rejets polluants de diverses natures.
- **Eaux des circuits de refroidissement** : Ce sont des eaux abondantes et généralement non pollués, car elles n'ont pas de contact avec les produits fabriqués. Elles peuvent être recyclées.
- **Eaux de lavage des sols et machines** : Le degré de pollution et le débit des eaux de lavage sont très variables et particulièrement importants en fin de journée, au cours des nettoyages de week-ends, et des périodes de congés.

I.4. TRAITEMENT DES EAUX INDUSTRIELLES

I.4.1. Prétraitement

Tout traitement de dépollution doit comporter ce qu'il est convenu d'appeler un « prétraitement » qui consiste en un certain nombre d'opérations mécaniques ou physiques destinées à extraire le maximum d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne ultérieurement. Ces opérations sont : le dégrillage, le dessablage et le déshuilage.

I.4.1.1. Le dégrillage :

Le dégrillage est une opération indispensable pour éliminer de gros objets susceptibles de gêner le fonctionnement des procédés situés en aval. Il permet de séparer et d'évacuer les matières volumineuses, amenées par l'effluent à traiter. L'efficacité de ce traitement dépend essentiellement de l'écartement des barreaux des grilles qui sont de trois types [2] :

- Dégrillage fin (écartement 3 à 10 mm) ;
- Dégrillage moyenne (écartement 10 à 25 mm) ;
- Dégrillage grossier (écartement 50 à 100 mm) ;

I.4.1.2. Le dessablage :

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, les sables et les particules minérales plus ou moins fines de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, ainsi pour protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion et à éviter de surcharger les stades de traitements ultérieurs en particulier les réacteurs biologiques. L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé "dessableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Les sables récupérés par aspiration sont ensuite essorés puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés selon la qualité du lavage. Cette opération concerne les particules minérales de granulométrie supérieure à 100 μm [3].

I.4.1.3. Déshuilage dégraissage

Les opérations de dégraissage et de déshuilage consistent en une séparation de produits de densité légèrement inférieure à l'eau, par effet de flottation. Le dégraissage est une opération de séparation liquide-solide réalisant un compromis entre une rétention maximale des graisses et un dépôt minimale de boues. Le terme déshuilage est habituellement réservé à l'élimination d'huiles présentes en quantité notable dans les eaux résiduaires. Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide [4].

I.4.2. Traitement primaire

Le traitement primaire consiste en une simple décantation. Elle permet d'alléger les traitements biologiques et physico-chimiques ultérieurs, en éliminant une partie des

solides en suspension. L'efficacité du traitement dépend du temps de séjour et de la vitesse ascensionnelle [5].

I.4.2.1. La décantation physique (naturelle)

La décantation est utilisée dans pratiquement toutes les usines d'épuration et de traitement des eaux, c'est un procédé de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc dont la densité est supérieure à celle de l'eau ; elle s'effectue selon un processus dynamique, en assurant la séparation des deux phases solide-liquide de façon continue. Les particules décantées s'accumulent au fond du bassin, d'où on les extrait périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite clarifiée. Elle est dirigée vers un autre stade d'épuration [6].

I.4.2.2. La décantation physico-chimique

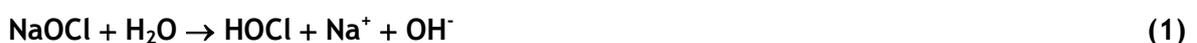
Si les particules sont très fines (colloïdales), ils peuvent rester en suspension dans l'eau très longtemps, ces dernières n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres. Pour les éliminer, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation qui ont pour but de déstabiliser les particules en suspension et faciliter leurs agglomérations. Par l'injection des réactifs tels que : le sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)_3$ et le sulfate ferrique $Fe_2(SO_4)_3$ pour coagulation et pour la floculation en trouve : les flocculant minéraux, les flocculant organiques [7].

I.4.2.3. La flottation

La flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique est inférieure à celle du liquide qui les contient [8]. Pour l'extraction des particules en suspension, on fait appel à des techniques de clarification et d'épaississement par insufflation d'air. Les bulles d'air s'accrochent aux particules fines à éliminer en les ramenant à la surface de l'eau [9]. Ce traitement élimine 50 à 55 % des matières en suspensions et réduit d'environ 30 % de la DBO_5 et de la DCO.

I.4.2.4. Chloration des eaux

Pour éviter le développement d'organismes végétaux et animaux, l'injection d'eau de javel est indispensable. L'hypochlorite de sodium réagit rapidement dans l'eau pour former de l'acide hypochloreux selon la réaction (1) :



L'acide hypochloreux est un acide faible qui réagit de la façon suivante :



La distribution de HOCl et OCl⁻ varie considérablement en fonction du pH : plus le pH est élevé, plus la proportion de OCl⁻ est élevée. Il est important de tenir compte de ce phénomène car l'acide hypochloreux est un désinfectant beaucoup plus efficace que les ions hypochlorites.

II. LES CHAUDIERES

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

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

II.1. TYPE DES CHAUDIERES

Les chaudières peuvent être classées selon :

II.1.1 Leur fonction

A. Chaudières de chauffage central : Elles permettent de distribuer de la chaleur dans différents locaux. La restitution de chaleur s'effectue à l'aide de radiateurs ou de convecteurs. Le liquide employé est généralement de l'eau. Les fumées des chaudières classiques contiennent de l'eau à l'état vapeur produit lors de la réaction de combustion.

B. Les chaudières à condensation : Un peu plus onéreuses, elles sont équipées d'un échangeur supplémentaire au niveau de rejet des fumées ou circule l'eau de chauffage avant son introduction dans la chaudière.

C. Les chaudières pulsatoires : Elles reposent sur le principe de combustion différent des chaudières classiques.

D. Chaudières de locomotive à vapeur : Elle chauffe de l'eau jusqu'au stade de la vapeur en surpression. Cette vapeur en se dilatant dans des pistons délivre une force mécanique qui est utilisée pour déplacer la locomotive.

E. Chaudières à circuit non fermé : Elle produit la vapeur d'eau.

II.1.2 Leur architecture interne

A. Chaudière à circulation forcée : Dans ce type de chaudières, la circulation de l'eau dans les tuyauteries est assurée à l'aide d'une pompe appelée aussi circulation dans le cas du chauffage central.

B. Chaudière à circulation naturelle : Dans ces chaudières, l'eau d'appoint (eau froide) est introduite dans un ballon supérieur vu que la densité de cette eau est plus grande que celle de l'eau plus chaude déjà existante. Elle commence à prendre de la chaleur jusqu'à atteindre une zone où elle devient très chaude et sa densité beaucoup plus faible ; dans ce cas, elle monte et revient au ballon dans lequel elle été introduite. Ce mouvement parcouru par l'eau n'est pas obtenu à l'aide d'une pompe : pour cela il est appelé à circulation naturelle.

C. Chaudières à tube de fumés : elles sont le plus généralement des petites chaudières générant de la vapeur saturée à une pression inférieure à une vingtaine de bars.

D. Les chaudières à tube d'eau : Une chaudière à tubes eau est ce genre de chaudière où l'eau est chauffée les tubes intérieurs et les gaz chauds les entourent. Telle est la définition de base de la chaudière à tubes d'eau. En réalité, cette chaudière est juste en face de la chaudière à tubes de fumée où les gaz chauds sont passés à travers des tubes entourés d'eau.

II.2. COMPOSITION DES EAUX NATURELLES

II.2.1. Sels minéraux

Ce sont essentiellement des composés ioniques, anions et cations, qui proviennent de la dissolution des roches dans l'eau qui circule à leur contact. Les principaux anions et cations contenus dans une eau sont les suivant:

Tableau I.1 : Composition des eaux naturelles en sels minéraux

Anions	Cations
Carbonates	Calcium
Bicarbonates	Magnésium
Sulfates	Sodium
Chlorures	Potassium
Nitrates	

II.2.2. Les gaz dissous

- **Oxygène dissous**

L'oxygène, toujours présent dans l'eau, n'en est pas un élément constitutif, sa solubilité est en fonction de la température et de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité. L'oxygène dissous conserve ses propriétés oxydantes, d'où son importance dans les phénomènes de corrosion.

- **Le CO₂**

-CO₂ total: représente la somme des espèces carbonatées : CO₂ dissous moléculaire, H₂CO₃, HCO₃⁻ et CO₃²⁻

-CO₂ libre est la somme de : CO₂ dissous moléculaire à l'état de microbulles et H₂CO₃ c'est-à-dire en fait le CO₂ dissous.

-CO₂ des bicarbonates est la somme de : HCO₃⁻ et CO₃²⁻

-CO₂ libre équilibrant est la fraction de CO₂ dissous (non combiné en HCO₃⁻ ou CO₃²⁻) juste nécessaire pour qu'il n'y ait ni dissolution ni précipitation de carbonate de calcium.

-CO₂ libre agressif est la fraction de CO₂ dissous présente dans l'eau en excès par rapport au CO₂ équilibrant et qui confère à l'eau son caractère agressif [17].

- **Equilibre d'une eau**

Dans les eaux naturelles, les carbonates et des bicarbonates de calcium et de magnésium, se trouvent en équilibre avec le CO₂ suivant les équations ci-après :



Toute variation dans la teneur en CO₂ déplacera les équilibres:

Si l'eau renferme une dose de CO₂ supérieure à celle correspondant à l'équilibre, la teneur supplémentaire en CO₂ constitue ce que l'on appelle le CO₂ agressif. Une telle eau sera alors agressive.

Si l'eau renferme une dose de CO₂ inférieure à celle de l'équilibre .Il y aura une transformation des bicarbonates solubles en carbonates insolubles qui précipiteront.

II.2.3. Les matières organiques

Ce sont, par définition, des composés du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote. Ces matières proviennent soit de l'érosion des sols, soit de la décomposition de matières animales ou végétales qui se retrouvent dans l'eau.

II.3. RESSOURCES HYDRAULIQUES NATURELLES

II.3.1. Eaux de mer

Ces eaux sont caractérisées par un pH moyen variant entre 7,5 et 8,4 et une salinité importante qui peut varier selon les origines. Le tableau II.2 présente les concentrations des principaux ions qu'on retrouve dans une eau de mer. Ces quantités valables pour une eau dont la salinité est de 34500 mg/L, peuvent être considérées comme les teneurs moyennes des océans.

Tableau I.2 : Concentration des différents ions d'une eau de mer

Type d'ions	Salinité (g/L)	Quantité totale de matières en solution (%)
<u>Anions</u>		
Chlorures	18,98	55,04
Sulfates	2,65	7,68
Bicarbonates	0,140	0,41
Bromures	0,065	0,19
Fluorures	0,0013	0,00
Acide borique	0,0260	0,07
<u>Cations</u>		
Sodium	10,56	30,61
Magnésium	1,27	3,69
Calcium	0,40	1,16
Potassium	0,38	1,10
Strontium	0,013	0,04
Total	34,5	99,99

II.3.2. Eaux souterraines

Les eaux qui ne sont ni ré-évaporées, ni retournées à la mer par ruissellement s'infiltrant dans le sol et le sous-sol et s'y accumulent pour constituer les eaux souterraines. Les principales caractéristiques de ces eaux sont représentées dans le tableau I.3:

Tableau I.3 : caractéristiques des eaux souterraines

Caractéristiques	Eaux souterraines
Température	Relativement constante
Turbidité Faible ou nulle sauf en terrain fissuré	Matières en suspension (MES)
Couleur	Liées surtout aux éléments en solution
Minéralisation globale	Sensiblement constante. En général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région.
Fer et Manganèse dissous	Généralement présent
Gaz carbonique agressif	Souvent présent
Oxygène dissous	Généralement absent
Sulfure d'hydrogène	Souvent présent
Ammoniaque	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	Teneur parfois élevée
Silice	Teneur souvent élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Généralement absents. Subsistent beaucoup plus longtemps en cas de pollution accidentelle
Éléments vivants	Ferro-bactéries fréquentes (des algues)
Caractère eutrophe (développement exagéré)	Non

II.4. QUALITE D'EAU NECESSAIRE A L'ALIMENTATION DES CHAUDIERES

Tableau I.4 : Caractéristiques des eaux de chaudière (valeurs courantes) [10].

	Eau d'appoint	Eau bâche	Eau chaudière	Vapeur condensée
pH	7 ,6	8 ,5	11 ,5	8,5
TH °f	0	0	0	0
TA °f	0	traces	75	Traces
TAC °f	20	10	100	1
Cl ⁻ (mg/L)	3	1,5	15	0
SiO ₂ (mg/L)	7	3,5	35	0
Fe ⁺⁺ (mg/L)	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	-	-	25	-
cond.en µS/cm	460	230	5000	10

II.5. PROBLEMES PROVOQUES PAR LES IMPURETES DE L'EAU

1. Corrosion

La corrosion est maintenant définie par la norme ISO 8044 comme une interaction physico-chimique entre un métal et son environnement entraînant des modifications dans les propriétés du métal et souvent une dégradation fonctionnelle du métal lui-même, de son environnement ou du système technique constitué par les deux facteurs [11].

1.1. Morphologie de la corrosion

La corrosion peut se développer de trois façons principales.

1.1.1. Corrosion uniforme : C'est la forme de corrosion la plus banale. Elle se traduit par une dissolution uniforme de la surface métallique en contact avec l'agent agressif [12]. La résistance mécanique décroît proportionnellement à la diminution d'épaisseur [13].

1.1.2. Corrosion par piqûres : C'est une forme de corrosion des plus insidieuses et des plus destructives. L'attaque se limite à des trous ou piqûres très localisées et pouvant progresser très rapidement en profondeur, alors que le reste de la surface reste intact

.L'installation peut être perforée en quelques jours sans qu'une perte de poids appréciable de l'ensemble n'apparaisse [13].

1.1.3. Corrosion inter-granulaire : La corrosion inter-granulaire provoque une dissolution préférentielle des zones d'émergence des joints de grains qui s'enrichissent ou s'appauvrissent en éléments d'addition de l'alliage ou présentent, naturellement, un taux élevé en impuretés. Elle se produit à la surface et se propage en profondeur en suivant les régions inter-cristallines. Cette forme de corrosion provoque le déchaussement des grains et entraîne des pertes en poids importantes accompagnées d'une perte de résistance mécanique du matériau [14-15].

1.2. Corrosion dans la chaudière

1.2.1. Corrosion par l'oxygène

L'oxygène joue un rôle considérable dans les phénomènes de corrosion, qui se trouvent activés suivant deux processus principaux [18] :

a) Mécanisme électrochimique

- Réaction anodique:



- Les réactions cathodiques sont :



b) aération différentielle

Une différence de concentration en oxygène sur la surface du métal engendre une pile: les parties propres, où l'oxygène a facilement accès, se comportent comme cathodes, les parties recouvertes de dépôt se comportent comme anodes et il se forme une ou plusieurs pustules de corrosion [20]. La corrosion est localisée et se traduit généralement par formation de piqûres sur le métal.

1.2.2. L'attaque par le dioxyde de carbone

En phase vapeur saturée ou surchauffée, le CO₂ à l'état gaz n'est pas corrosif, mais dès qu'une condensation se produit, le CO₂ se dissout dans cette eau condensée qu'il rend acide et lui confère un caractère corrosif [21 - 22].



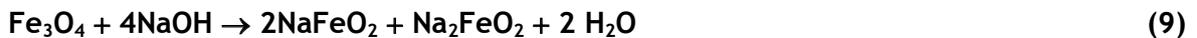
1.2.3. Corrosion galvanique

Ce type de corrosion implique l'existence de deux métaux différents reliés entre eux électriquement et baignant dans le même milieu [16]. Le type de corrosion galvanique le plus courant dans les systèmes de chaudières résulte de la présence de cuivre sur le parcours de l'eau [24]. Les ions Cu^{++} à des teneurs inférieures au mg/l peuvent provoquer une accélération considérable de la corrosion par électrodéposition de cuivre [19].

Cette corrosion peut également se produire du fait de la différence de composition d'un même métal ou du fait de soudure ayant transformé le métal [27].

1.2.4. Corrosion caustique

La présence d'un dépôt de produits de corrosion et de soude sur la surface métallique entraîne la corrosion caustique qui apparaît quand la teneur en NaOH est trop élevée. En effet un excès d'alcali, peut lentement dissoudre le film de magnétite suivant la réaction (6):



En formant de l'hypo-ferrite de sodium Na_2FeO_2 , et de ferrite de sodium NaFeO_2 qui sont solubles dans NaOH concentrée. De plus, les alcalis concentrés réagissent directement et plus rapidement avec le fer pour former de l'hydrogène et du ferrate de sodium.



Ce genre de réaction joue un rôle important dans le phénomène de corrosion par piqûres et la formation de trous dans les tubes de chaudières, et contribue à créer les vitesses excessives de corrosion du fer aux valeurs élevées du pH (environ pH=13) [27].

1.2.5. Corrosion -érosion

Les composants du circuit eau-vapeur peuvent être affectés de corrosion-érosion (corrosion accélérée par l'écoulement dans la terminologie internationale). Ce type de dégradation consiste en une solubilisation de la couche d'oxyde et du métal lui-même au cours du temps, d'où un amincissement qui peut conduire à un éclatement de la

tuyauterie si l'épaisseur devient insuffisante. La corrosion-érosion se produit lorsque trois conditions sont réunies:

- Acier au carbone non allié;
- Vitesse d'écoulement importante;
- Environnement chimique et température défavorables [28].

1.2.6. Abrasion -corrosion

Lorsque l'eau contient des particules solides en suspension, le frottement de ces particules sur la première surface solide exposée au fluide peut éliminer les couches protectrices qui tendraient à se former, entraînant ainsi une accélération notable de la vitesse de corrosion [29].

1.2.7. Cavitation

Ce phénomène du à des pressions locales situées de part et d'autre de la tension de vapeur de l'eau [19]. En effet des bulles de gaz ont tendance à se former dans l'eau lorsque sa pression devient inférieure à la tension de vapeur de liquide. Lorsque la pression augmente ces bulles se condensent ou éclatent [22]; d'où une destruction hétérogène et caverneuse du métal [19].

1.2.8. Fragilisation par l'hydrogène

La réduction cathodique des ions H^+ sur la surface du métal se traduit par une production d'atomes d'hydrogène H adsorbé sur cette surface. Ces atomes peuvent pénétrer dans le métal et précipiter sous forme de bulles gazeuses microscopiques sous très haute pression. La pression de ces microbulles peut alors être telle qu'elle fait éclater localement le métal, créant ainsi une fissure remplie de gaz [29].

1.2.9. Corrosion sous tartre

La présence de dépôts, préexistants ou provenant d'eaux mal filtrées peut être source de corrosion par création de zones sous dépôt, non aérées et génératrices de plages anodiques [19].

1.2.10. Phénomènes particuliers de la corrosion en chaudières : corrosion à haute température

Aux températures élevées, le pouvoir oxydant de l'eau provoque la formation de magnétite Fe_3O_4 , selon les réactions dites de SCHIKORR:

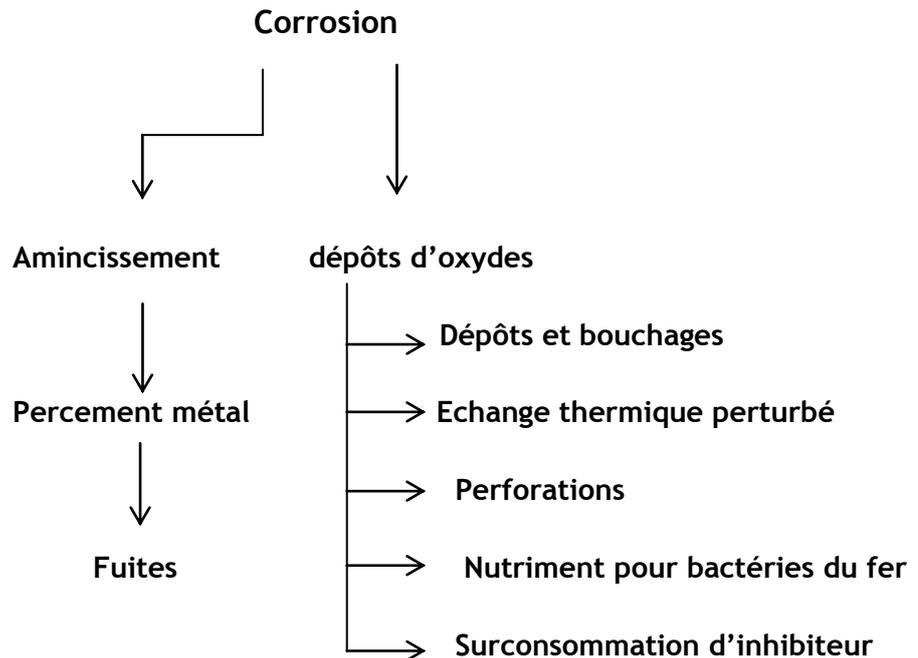


Ou



Les vitesses de ces réactions sont lentes à température ambiante et deviennent appréciables au-dessus de 100°C, puis très rapides au-dessus de 200°C. La couche compacte de magnétite, une fois formée, est très résistante et ne se dissout plus même en milieu légèrement acide [31]. Elle joue un rôle protecteur tant qu'elle est de faible épaisseur, adhérente, continue et que ses propriétés physiques et mécaniques sont voisines de celles du métal de base. Si elle s'épaissit trop, le transfert de chaleur de foyer extérieur vers l'eau intérieure peut être limité, entraînant une surchauffe locale du métal qui entraîne sa dégradation. En augmentant encore d'épaisseur, la couche subit en général un écaillage; les produits de corrosion détachés seront alors déposés dans une autre partie de la boucle eau - vapeur [32].

1.3. Inconvénients dus à la corrosion [19]



2. Les incrustations

2.1. Origine de dépôts

Les dépôts dans la chaudière peuvent avoir deux origines :

a) Matières en suspension

Les matières en suspension apportées par l'eau avant l'introduction dans la chaudière peuvent se déposer partout où la vitesse de circulation est réduite. De même, des matières colloïdales qui se trouvent dans l'eau se coagulent sous une forme gélatineuse sous l'effet d'une simple élévation de température et forment des pellicules sur les parois des tubes des échangeurs de chaleur. La couleur de ces dépôts (gris- brun-rouge.....) est due aux matières en suspension qui s'absorbent sur cette pellicule pour constituer un édifice homogène et isolant très dangereux [21].

b) Précipitation de sels minéraux

- **Tartre carbonaté**

Par élévation de la température de l'eau, le CO_2 s'échappe et devient insuffisant et une partie de bicarbonate de calcium contenu dans l'eau précipite sur les parois chaudes à l'état de carbonate de calcium selon la réaction (28) [21]:



Si la montée en température est rapide, il se dépose sous forme de boue, mais si cette montée est lente, il se dépose sous forme d'incrustation [24]. Les dépôts de carbonate de calciums sont généralement durs et adhérents (marbre) [10].

- **Tartres sulfates**

Il s'agit surtout de sulfate de calcium CaSO_4 [24], dont la solubilité est maximale à 40°C et qui peut précipiter à froid sous forme de gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ou à chaud, sous forme anhydre CaSO_4 ou héli-hydrate ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$) [19] [10]. Les tartres sulfatés sont très durs et très adhérents.

- **Tartres siliceux**

En l'absence de sels incrustants, la silice forme sur les tubes de chaudière les plus chauds des dépôts vitrifiés très difficiles à enlever [16] [19].

- **Dépôts de fer**

Ces dépôts pouvant provenir du circuit lui-même sous forme d'oxydes métalliques [21].

2.2. Paramètres contrôlant l'entartrage

- **La température**

Par suite d'une augmentation de la température, le produit de solubilité des sels minéraux contenus dans l'eau d'alimentation pouvant être abaissé ce qui entraîne la précipitation de ces sels [21] [19].

- **La concentration en ions**

La précipitation des sels sous forme solide intervient principalement lorsque la concentration en sel augmente [10].

2.3. Inconvénients du tartre

- **Diminution de la chaleur transmise**

Les incrustations sont dangereuses avant tout par leur mauvaise conductibilité thermique.

Elles forment sur les parois d'échange une pellicule isolante qui gêne les échanges thermiques [21].

- **Surchauffe de la paroi**

Du fait de la présence du tartre, la paroi est plus chaude et la résistance mécanique du fer est affaiblie .Il peut se produire des déformations et même des ruptures [24].

- **Obturation des orifices**

Les dépôts de tartres formant des couches successives peuvent obturer tout ou partie des orifices ou passages des tubes, vannes, échangeurs.... [24].

- **Possibilité de corrosion**

Les incrustations entraînent souvent un défaut d'homogénéité des surfaces en contact avec l'eau (soit par décollement partiel de la couche de tartre, soit par dépôt préférentiel dans certaines zones), défaut qui peut être générateur de déformation du métal et de corrosion [21].

3. Le primage

On définit sous le nom de primage, tout ce qui correspond à un départ de vésicules liquides dans le circuit vapeur, l'origine pouvant être soit la formation de

mousses, soit la formation d'un bouillard de gouttelettes qui peuvent être entraînées sous forme d'eau. Les sels de l'eau entraînés cristallisent alors dans le circuit vapeur.

Ces phénomènes sont en relation avec les caractéristiques physiques de l'eau (tension superficielle, viscosité) et celles de la chaudière qui facilitent respectivement l'émulsion eau-vapeur et l'entraînement des vésicules en suspension.

De même, la composition physico-chimique de l'eau influence directement la tendance au primage, les éléments les plus nocifs étant les alcalins et certaines matières organiques à haut pouvoir moussant [21].

3.1. Inconvénients

- Incidents graves lorsque la vapeur est utilisée directement en fabrication ;
- Baisse de rendement thermique de l'installation ;
- Obstruction partielle ou complète des tubes de surchauffeurs par les sels entraînés ;
- Dépôts sur les ailettes des turbines [20].

4. L'entraînement dans la vapeur de corps minéraux

Le plus nocif est celui de la silice qui se produit au-dessus de 250°C. Ces sels se déposent sur les ailettes des turbines entraînant de graves désordres dans leur fonctionnement. Les entraînements sont d'autant plus importants que la pression et donc la température, sont plus élevées [19].

II.4. TRAITEMENT D'EAU DE CHAUDIERE

Le traitement et le conditionnement de l'eau d'alimentation de chaudière doit satisfaire trois objectifs principaux : L'échange continu de chaleur ; La protection à la corrosion et la production de haute qualité de vapeur.

II.4.1. Traitement externe

Le traitement externe est la réduction ou l'élimination des impuretés de l'eau hors de la chaudière. En général, le traitement externe est utilisé quand la quantité des impuretés de l'eau d'alimentation est trop élevée pour être tolérée par le système de chaudière en question.

Les équipements de traitement de l'eau purifient et désaèrent l'eau d'appoint ou l'eau d'alimentation. L'eau est parfois prétraitée par évaporation pour produire une vapeur relativement pure, qui est alors condensée et utilisée pour l'alimentation des chaudières. Les évaporateurs sont de différents types, le plus simple étant un réservoir par lequel les serpentins à vapeur sont passés pour chauffer l'eau jusqu'au point d'ébullition. Parfois pour augmenter le rendement la vapeur du premier réservoir passe par des bobines dans un second réservoir d'eau pour produire un chauffage additionnel et une évaporation. Les évaporateurs conviennent où la vapeur en tant que source de chaleur, est aisément disponible. Ils ont des avantages particuliers pour la déminéralisation, par exemple, lorsque les solides dissous de l'eau brute sont très élevés.

Certains matériaux naturels ou synthétiques ont la capacité d'éliminer les ions minéraux de l'eau en les échangeant par d'autres. Par exemple, en passant l'eau à travers un simple adoucisseur échangeur de cations tous les ions calcium et magnésium sont éliminés et remplacés par des ions sodium. Puisqu'un simple échange de cation ne réduit pas le total de solides de l'eau d'alimentation, il est parfois utilisé conjointement avec d'autres traitements de type décarbonatation. Un des traitements les plus courants et plus efficaces est le procédé par zéolite à chaux. Ceci comporte un prétraitement de l'eau avec de la chaux pour réduire la dureté, l'alcalinité et dans certains cas la silice, et le traitement subséquent avec un adoucisseur à échange de cation. Ce système de traitement accomplit plusieurs fonctions: adoucissement, réduction de l'alcalinité et de la silice, réduction d'oxygène, et l'élimination de matière suspendue et de la turbidité.

Le traitement chimique à l'intérieur de la chaudière est généralement essentiel et complète le traitement externe en faisant attention à ce qu'aucune impureté n'entre dans la chaudière avec l'eau d'alimentation (dureté, oxygène, silice, etc.). Dans de nombreux cas, le traitement externe de l'eau d'approvisionnement n'est pas nécessaire et l'eau peut être traitée seulement par des méthodes internes.

II.4.2. Traitement interne

Le traitement interne est le traitement des impuretés à l'intérieur du système de chaudière. Les réactions se produisent dans les lignes d'alimentation ou dans la chaudière. Le traitement interne peut être utilisé seul ou avec un traitement externe. Son but est de réagir correctement avec la dureté de l'eau d'alimentation, d'éliminer les boues, de réduire l'oxygène et d'empêcher le moussage de l'eau des chaudières. Il peut constituer l'unique traitement lorsque les chaudières opèrent à pression faible ou

modérée, lorsqu'une large quantité de vapeur condensée est utilisée pour l'eau d'alimentation, ou lorsque la qualité de l'eau brute est bonne. Le but d'un traitement interne est de :

1. Réagir avec la dureté de l'eau d'alimentation et l'empêcher de précipiter avec le métal de la chaudière (tartre);
2. Conditionner n'importe quelles matières en suspension telles que les boues de dureté ou l'oxyde de fer dans les chaudières et de les rendre non-adhérentes au métal de chaudière;
3. Assurer une protection anti-moussage pour permettre une concentration raisonnable en solides dissous et en suspension dans la chaudière sans risque de primage;
4. Eliminer l'oxygène de l'eau et d'assurer une alcalinité suffisante pour empêcher la corrosion dans la chaudière.

De plus, en tant que mesure supplémentaire, un traitement interne devrait empêcher la corrosion et l'entartrage dans les systèmes d'alimentation d'eau et protéger les systèmes de condensat de vapeur contre la corrosion

CONCLUSION

L'eau industrielle désigne l'eau utilisée à des fins industrielles, par opposition à l'eau domestique et à l'eau agricole. L'eau est utilisée dans l'industrie pour le traitement, mais aussi pour la fabrication et le lavage. Le traitement de l'eau d'alimentation de chaudière est extrêmement critique, car de nombreux problèmes peuvent résulter de l'utilisation d'eau non traitée dans des environnements de pression et de température extrêmes qui peuvent résulter en une efficacité moindre en termes de transfert de chaleur, de surchauffe, de dommages et de coûts élevés de nettoyage.

PARTIE II

ETUDE EXPERIMENTALE

INTRODUCTION

Dans le cadre de la préparation de mon projet de fin d'étude, j'ai effectué un stage pratique au sein du complexe sidérurgique-Annaba ; L'unité Fluide. L'objectif était de réaliser une étude théorique et expérimentale sur la production et l'utilisation de l'eau dans l'industrie ; Précisément, l'industrie sidérurgique. Cette étude a été suivie par un contrôle de qualité des eaux bruts et industrielles produites au niveau de l'unité dite l'unité fluide de ce complexe.

I. PRESENTATION DU COMPLEXE

I.1. HISTORIQUE DU COMPLEXE

La société nationale de sidérurgie a été créée le 03/09/1964 par ordonnance NQ 642-72, et constitue l'une des cinq (05) entreprises nationales sous la tutelle de ministère de l'industrie lourde. Elle regroupe différentes unités réparties sur tout le territoire national. En tant que moyen pour assurer le développement du pays et améliorer les conditions de la vie du peuple algérien, autrement dit pour répondre aux impératifs économiques et sociaux du développement du pays.

La SNS a bénéficié des différents plans de développement pour devenir enfin entreprise nationale de sidérurgie suite à la restructuration des sociétés nationales.

Groupe Industriel SIDER a développé en 1969 une sidérurgie à El-Hadjar pouvant répondre à une gamme de produits sidérurgiques très variés.

Le complexe intégré d'El-Hadjar depuis 1969 a vu son domaine d'activités se développer au fil des années afin de répondre à la demande incessante, et croissante, en produits sidérurgiques pour la réalisation de plusieurs secteurs (habitat, unités pétrolières, ... etc.).

Suite à la politique de privatisations suivie par le pays, pour donner une nouvelle dynamique à la croissance et au développement, le complexe d'El-Hadjar a été acquis par le Groupe Mittal pour devenir la propriété du Groupe Sidérurgique International « ARCELOR-MITTAL ».

I.2. SITUATION GEOGRAPHIQUE DU COMPLEXE

Le complexe sidérurgique d'EL HADJAR est situé à l'est du pays dans la zone industriel d'ANNABA. Il est implanté à 15 km au sud de la ville et occupe une superficie de 800ha. La superficie se repartie approximativement en trois zones :

- ✓ Les ateliers de la production
- ✓ Les zones de stockage
- ✓ Les surfaces des services

Il dispose d'une infrastructure ferroviaire d'une longueur de 60 Km, permettant la libre circulation des matières premières et près de 100 Km de route permettant la circulation des engins (autobus, camion, véhicule ...). [13]



Figure II.1 : Image satellite du complexe

I.3. PRINCIPALES ACTIVITES DU COMPLEXE

Tableau II.5 : Principales activités du complexe

Installation	Produits	Principaux utilisateurs
Cokerie	Coke	Métallurgie
HF1 et HF2	Fonte	Métallurgie
ACO1	Brames	Industrie de transformation
Laminoir à chaud (LAC)	Tôles forte	Construction métallique Chantiers navals Tube bouteilles à gaz
Laminoir à froid (LAF)	Tôles fines	Electroménager Mobilier métallique Industrie de transformation
Etamage	Fer blanc	Emballage métallique Divers pour les industries Alimentaire et chimique
Galvanisation	Tôles galvanisées	Bâtiments pour l'agronomie Industrie et levage
Aciérie électrique (ACE)	Lingots	Recherche et production pétrolière Transport des hydrocarbures
Laminoir à fil rond (LFR)	Fil rond à béton	Bâtiments et travaux publics Hydraulique

I.4. ORGANIGRAMME DU COMPLEXE

L'organigramme ci-dessous nous montre l'organisation des différentes installations ainsi que leurs produits finis avec les principaux utilisateurs.

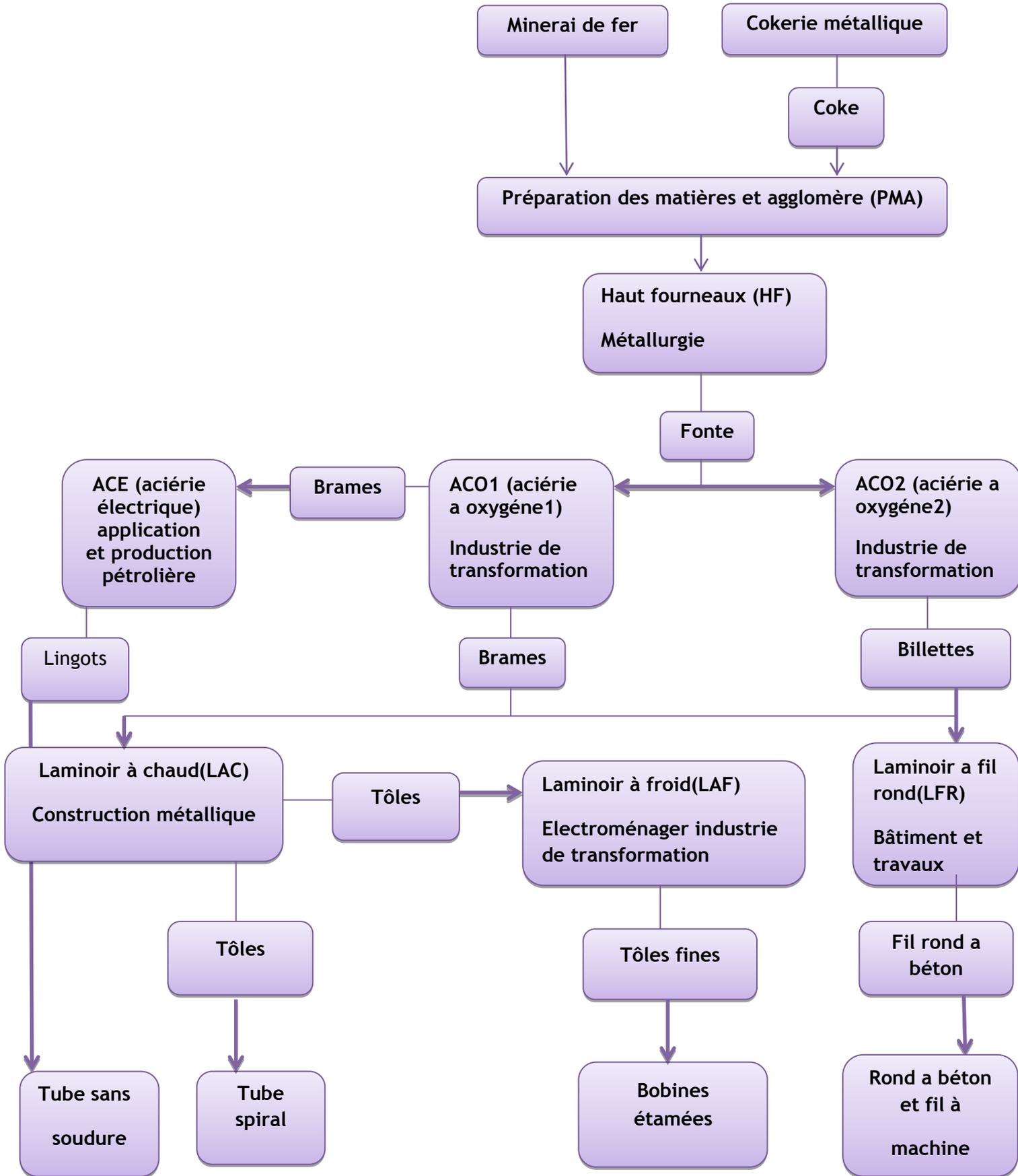


Figure II.2 : Organigramme du complexe

II. LA DIVISION FLUIDE (FLU)

La division fluide s'occupe principalement de la distribution des différents fluides à travers le complexe.

Ce service nous assure la fourniture de plusieurs fluides qu'on site ci-dessous :

- ✓ La distribution et la protection de l'eau industrielle et déminéralisée.
- ✓ La distribution et la protection de l'air service.
- ✓ La distribution et la protection de la vapeur saturée.
- ✓ La distribution et la protection du gaz naturel.
- ✓ La distribution et la protection de l'eau potable.

II.1. ORGANISATION DE LA DIVISION DES FLUIDES

Cet organigramme nous montre la planification et l'organisation des différents équipements de la division fluide.

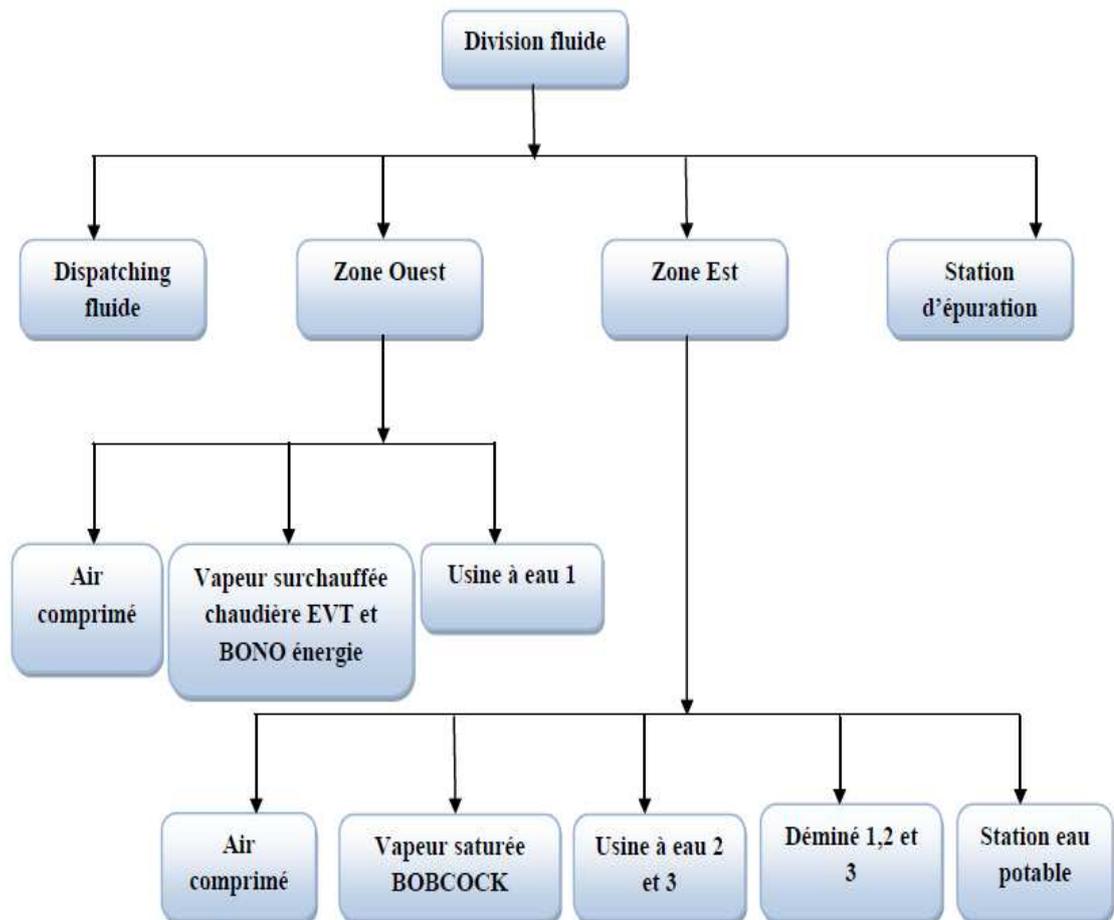


Figure II.3 : Organisation de la division des fluides

II.2. LA PRODUCTION ET L'UTILISATION DE L'EAU INDUSTRIELLE AU NIVEAU DE L'UNITE FLUIDE COMPLEXE SIDERURGIQUE D'EL HADJAR

II.2.1 La production des eaux industrielles

Eau brute

Le réseau d'eau qui alimente l'usine provient du barrage de CHAFIA à travers la station de pompage qui se trouve à SIDI AMAR, cette dernière alimente l'usine gravitaire avec des conduites de 1050 mm et une pression de 4 bars et un débit de 2000 m³/heure.

Arrivée d'eau

L'eau arrive dans cette conduite. La pression dans l'arrivé est régulée dans la salle de pompage EBS. Par la suite, elle se dirige directement vers un bassin amortissant appelé le brise charge (figure II.4). Le rôle de ce dernier est de cassé les grandes charges d'eau qui arrive du barrage et essayer de les freinés, et aussi l'injection des produits chimiques comme lait de chaux Ca(OH)₂, chlorure ferrique (FeCl₃), polymère (Sp₆).



Figure II.4 : La brise charge

Coagulation et floculation :

L'eau brute contient des particules extrêmement fines. Ces particules peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes ; c'est la raison à laquelle il est nécessaire d'ajouter à l'eau traitée un électrolyte permettant de neutraliser les charges négatives qui sont à l'origine du maintien des suspensions stables. On utilise généralement des sels d'un métal trivalent ; Fe³⁺ ou Al³⁺. La coagulation se déroule en deux étapes successives :

- ✓ Décharger les colloïdes généralement électronégatifs présents dans l'eau ;
- ✓ Favoriser l'agglomération des particules en floccs plus volumineux et accélérer leurs chutes [14].

Les coagulants : sont des produits liquides utilisés principalement pour le traitement des eaux de circulation. L'ajout d'un réactif coagulant à une eau brute permet de déstabiliser les particules colloïdales en suspension dans l'eau, à l'aide de produits chimiques comme le chlorure ferrique (FeCl_3).

Les flocculants : sont des produits liquides qui permettent de faciliter le contact entre les particules préalablement déstabilisées, déchargées par la coagulation. L'agitation du fluide provoque l'agglomération des pigments comme le polymère (Sp_6) [15].

Décarbonatation à la chaux :

La décarbonatation à la chaux est un traitement de précipitation qui a pour effet de réduire la dureté temporaire d'une eau qui est due à la présence des bicarbonates de calcium $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ et de magnésium $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. [16].

La chaux employée sous forme de lait de chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$ précipite les bicarbonates de calcium et de magnésium sous forme de cristaux (petits grains fins).

Décantation :



Figure II.5 : Décanteur

La décantation est une opération de séparation mécanique, par différence de gravité de phases non-miscibles dont l'une au moins est liquide. On peut séparer les phases liquides, une phase solide en suspension dans une phase liquide.

L'eau passe vers le décanteur à travers une conduite souterraine. Le décanteur est un bassin circulaire doté d'un bras pivotant, et ayant un fond conique (figure II.5). Le bras rotatif est muni d'un racleur qui pousse la boue dans le cône positionné au fond c'est là où se passe la floculation ou on sépare l'eau traité de la boue qui s'échappe d'une autre conduite.

Filtration par sable :

La filtration lente est une méthode d'épuration biologique qui consiste à faire passer l'eau a traitée à travers un lit de matériau filtrant à une vitesse de 0,1 à 0,2 m/h. Le matériau filtrant le plus approprié est le sable. Au cours de ce passage, la qualité de l'eau s'améliore considérablement par la diminution du nombre de micro-organismes (bactéries, virus), par l'élimination de matières en suspension et colloïdales et par des changements dans sa composition chimique. A la surface du lit se forme une mince couche appelée "membrane biologique". Cette mince couche superficielle est essentielle, car c'est là que le processus d'épuration se déroule.

Après la filtration au sable, l'eau filtrée se dirige vers la salle de traitement des eaux. Cette salle contient des bâches à eau souterrain ou l'eau industrielle est stockée.

II.2.2. Utilisation de l'eau industrielle

L'eau industrielle est utilisée essentiellement pour le refroidissement de certains mécanismes, on cite :

- ✓ Le refroidissement des machines à couler continue et des billettes ;
- ✓ Le refroidissement, l'épuration des gaz (CO , CO_2) et les poussières (calamines et graphites) des convertisseurs ;
- ✓ Le refroidissement des échangeurs, des moteurs des pompes.

II.3. LA PRODUCTION ET L'UTILISATION DE L'EAU DEMINERALISEE

II.3.1 La production des eaux déminéralisées

La présence d'une forte concentration en minéraux dans une eau conduira dans certaines conditions à des phénomènes de précipitation et donc à l'apparition de dépôt.

En particulier, pour éviter la formation de tartre, le constructeur procède alors aux traitements de déminéralisation à l'aide d'une osmose inverse (figure II.7) qui est un système de filtrage très fin qui ne laisse passer que les molécules d'eau.

Ce système ingénier va nous permettre de gagner beaucoup de temps et de déminéraliser beaucoup plus d'eau qui va être de meilleures qualités. Cependant, le traitement par osmose doit être précédé par un prétraitement par un système d'ultrafiltration (figure II.6) pour éliminer : des microorganismes, turbidité.



Figure II.6 : Installation d'ultrafiltration Figure II.7 : Installation d'osmose inverse

II.3.2. Les procédés membranaires

II.3.2.1. Principe de filtration par membrane

La membrane est définie comme une couche mince semi-perméable qui joue le rôle d'une barrière sélective, sous l'effet d'une force motrice, elle permet l'arrêt ou le passage de substances dissoutes.

Le résultat d'une opération de filtration membranaire est la séparation du fluide à traiter en deux parties de concentrations différentes :

- ✓ Le retentât qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane ;
- ✓ Le perméat qui contient les molécules qui traversent la membrane.

Les procédés de séparation membranaire regroupent un grand nombre de techniques permettant de réaliser des séparations en phase liquide ou gazeuse sous l'action de diverses forces de transfert. Celle-ci peut être un gradient de potentiel

électrique (électrodialyse), un gradient de concentration ou un gradient de pression qui est l'objet de ce travail (18).

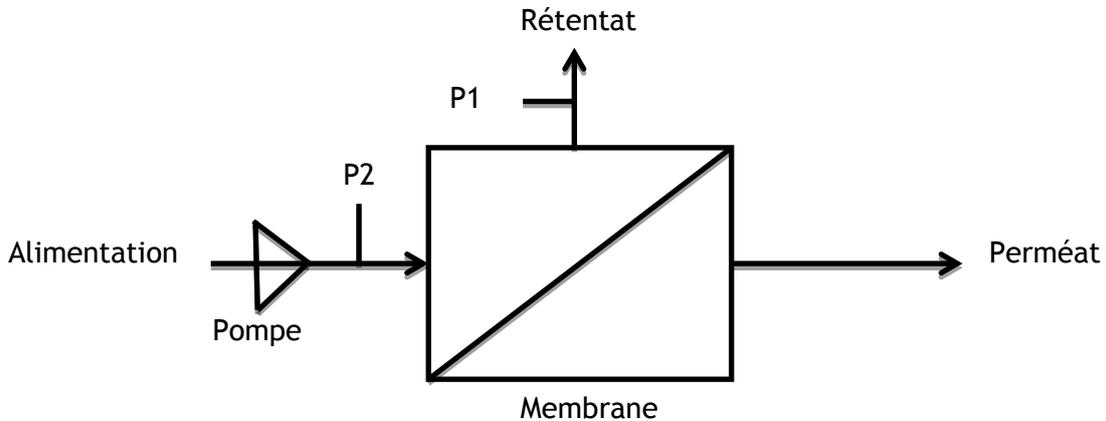


Figure II.8 : Procédé de séparation membranaire tangentiel

II.3.2.2. Les techniques membranaires à gradient de pression

Elles reposent sur une différence de pression totale de part et d'autre part de la membrane, appelée pression transmembranaire.

Ces procédés membranaires barométriques, peuvent être classifiés en fonction de la membrane utilisée et du seuil de coupure en microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, et osmose inverse comme présenté sur la figure II [19].

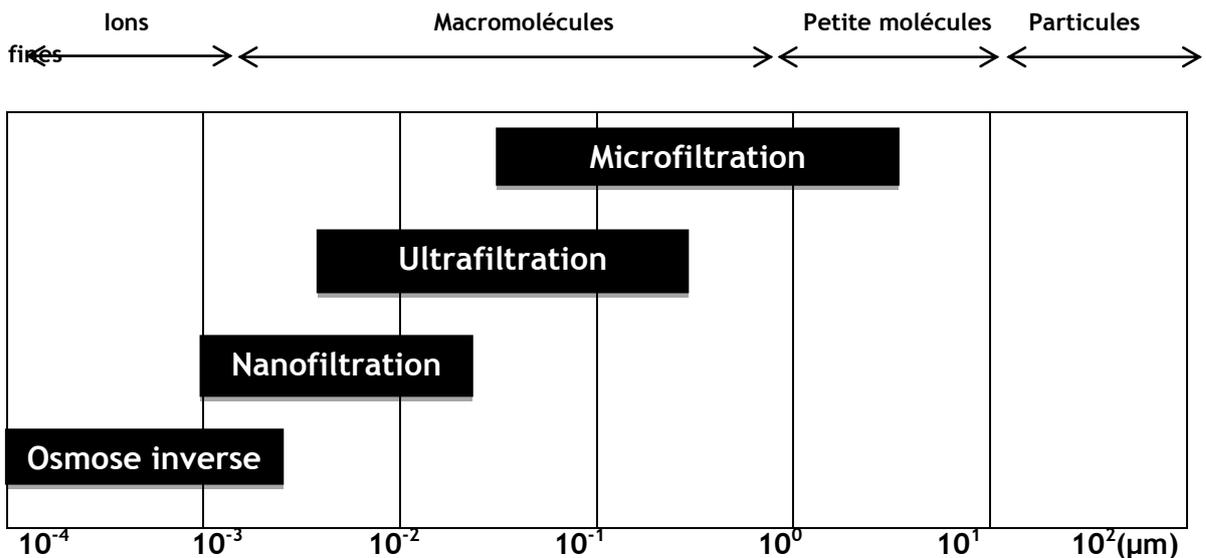


Figure II.9 : Classification des procédés barométriques membranaires selon la taille de séparation

1. La microfiltration

Elle est définie comme un procédé de séparation solide / liquide. Le mécanisme est basé exclusivement sur l'effet tamis (taille) et rend possible la rétention de particules en suspension ou de bactéries dont la taille se situe entre 0,1 et 10 μm . Les pressions appliquées sont de quelques dixièmes de bar pour éviter un colmatage important.

2. La nanofiltration

Pour traiter des espèces de taille inférieure à 2 nm (sucre, colorant, sels,.....) elle se situe à la transition entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration tant au niveau du seuil de coupure (200 à 1000 Dalton) qu'au niveau de la pression transmembranaire (5 à 25 bar). Les membranes de nanofiltration possèdent également une sélectivité spécifique vis à vis des espèces ioniques, une forte rétention globale pour les sels minéraux à faible concentration [20].

3. L'ultrafiltration

L'ultrafiltration est un procédé de séparation soluté / solvant. Il s'agit d'une technique membranaire de séparation. Le principe de séparation est une différence de pression de part et d'autre part de la membrane. Les tailles des molécules retenues par l'ultrafiltration vont de 0,002 μ à 0,1 μ selon la membrane choisie.

3.1. Principe de l'ultrafiltration

La filtration est généralement de type tangentielle, c'est à dire que le fluide circule parallèlement à la membrane, contrairement à la filtration classique qui est dite frontale. La filtration tangentielle permet de limiter l'accumulation de dépôts qui obturent la surface de filtration. Les constituants arrêtés peuvent être des bactéries, des macromolécules synthétiques ou naturelles, des agrégats moléculaires ou des particules issues de divers procédés. Ils pourront alors être recyclés plutôt que mis en décharge.

3.2. L'installation

Les installations d'ultrafiltration comprennent : les modules (ensemble de membranes), une pompe d'alimentation haute pression et une pompe de circulation. Elles comprennent souvent un échangeur thermique pour maintenir le liquide à la température désirée. Il existe deux types principaux d'installation :

Procédé batch ou discontinu : dans ce cas, le système peut comporter une recirculation ou non, le premier cas permettant de réaliser une économie d'énergie.

Procédé continu : pour ce procédé, la boucle de filtration est alimentée en permanence. Industriellement, plusieurs modules sont placés en série pour obtenir un bon rendement.

3.3. Les membranes

Les membranes sont asymétriques, constituées d'une mince peau (couche filtrante) déposées sur un support de même nature ou asymétriques et composites si la couche filtrante n'est pas de même nature que le support. Elles sont caractérisées par leur porosité, l'épaisseur de la couche filtrante, le diamètre moyen de leurs pores et leur répartition, et le matériau employé dont dépendent la résistance mécanique, chimique, thermique et la facilité de nettoyage. Les membranes peuvent être minérales ou organiques, planes, spiralées ou tubulaires. Le mode d'utilisation et le type de membrane dépendent du fluide à traiter et des objectifs à atteindre.

4. Osmose inverse

4.1. Définition de l'osmose :

Dans la nature, l'osmose est un phénomène essentiel aux équilibres biologiques, il est basé sur le principe fondamental de l'équilibre. Lorsque deux liquides contenant différentes concentrations de solides dissous sont mis en contact, ceux-ci se mélangent jusqu'à uniformisation des concentrations. Lorsque ces deux liquides sont séparés par une membrane semi-perméable (laquelle laisse passer les liquides tandis que les solides dissous restent dans leur compartiment), le liquide contenant la plus faible concentration de solides dissous va traverser la membrane pour aller dans le liquide contenant la plus forte concentration de solides dissous. Après un temps donné, le niveau de l'eau sera plus élevé d'un côté de la membrane. La différence de hauteur est appelée pression osmotique [21].

4.2. Définition de l'osmose inverse :

L'osmose inverse est un procédé de filtration tangentielle qui permet l'extraction d'un solvant, le plus souvent l'eau, par perméation sélective à travers une membrane dense sous l'action d'un gradient de pression. Elle s'oppose au phénomène naturel d'osmose. L'osmose inverse consiste à faire passer l'eau au travers des

membranes semi perméables, sous l'effet de la pression différentielle de la solution concentrée vers la solution diluée. Le taux d'élimination est exprimé en pourcentage de la salinité totale, la réduction de salinité de l'eau saumâtre est supérieure à 92% contre plus de 98,5% pour l'eau de mer [22]. L'écoulement s'effectue en continu tangentiellement à la membrane. Une partie de la solution à traiter (débit Q_0) se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes :

- ✓ Une partie qui passe à travers la membrane ou perméat (débit Q_p) ;
- ✓ Une partie qui ne passe pas à travers la membrane, appelée concentrât ou retentât (débit Q_c), et qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane [23].

L'osmose inverse utilise des membranes denses qui laissent passer l'eau et arrêtent tous les sels. Cette technique est utilisée pour :

- ✓ Le dessalement des eaux de mer,
- ✓ Le dessalement des eaux saumâtres,
- ✓ La production de l'eau ultra pure,
- ✓ La production de l'eau de process.

4.3. Mécanisme de transfert

Dans le cas de l'osmose inverse, les transferts de solvant et de soluté au travers d'une membrane semi-perméable se font par solubilisation-diffusion; toutes les espèces moléculaires (soluté et solvant) se dissolvent dans la membrane et diffusent à l'intérieur de celle-ci sous l'action d'un gradient de concentration et de pression [24].

4.4. Présentation des membranes d'osmose inverse

4.4.1. Définition des modules d'osmose inverse

Les appareils unitaires de séparation, mettant en œuvre des membranes, sont appelés « cartouches » ou « modules ». Leur conception est différente suivant la forme de la membrane et doit, à la fois, assurer une circulation suffisante à la surface de celle-ci et présenter une bonne compacité. Ils sont aussi conçus en fonction de l'application à venir et doivent satisfaire aux facilités d'exploitation (montage, démontage, nettoyage) [25].

4.4.2. Définition et description des membranes d'osmose inverse

Les membranes d'osmose inverse, peut-être des membranes organiques ou inorganique (minérale), des membranes composites, ou des membranes à charge électrique.

Le procédé de l'osmose inverse est basé sur la propriété des membranes semi perméables de laisser passer l'eau tout en arrêtant les sels dissous.

La séparation des solutés et le passage du solvant (l'eau dans la plupart des cas) dépendent du choix des matériaux, techniques d'élaboration et structure de la membrane [26].

L'osmose inverse n'a pu se développer que grâce à la mise au point de techniques permettant de préparer des films polymères d'épaisseur très faible, sans quoi les surfaces membranaires à mettre en œuvre pour avoir un rendement suffisant auraient été gigantesques. Les membranes utilisées sont donc asymétriques (plusieurs couches d'épaisseur différente) et composites (plusieurs matériaux différents) [26].

Les premières membranes d'osmose inverse étaient constituées d'acétate de cellulose asymétrique. Aujourd'hui, la majorité des membranes d'osmose inverse ont une couche active constituée de polyamide aromatique déposé sur un support poly-sulfone sur polyester, présentant une meilleure tenue mécanique, chimique et thermique et générant des densités de flux plus élevées. Elles sont donc en général composées de 3 couches :

- La base (~100 μ m), formée d'un matériau inerte type textile tissé ou non (ex : polyester téréphtalique), assure la résistance physique du film. Elle est trop grossière pour permettre le dépôt en couche mince de la partie active.
- Le support (~50 μ m) est une membrane d'ultrafiltration aux pores plus fins, calibrés (ex : poly-sulfone). Il assure la résistance mécanique de l'ensemble.
- La couche active superficielle (~0,1 à 0,2 μ m), à permet la séparation des espèces. Elle est déposée sur le support. Le polymère le plus employé est le polyamide aromatique. Il est traité différemment selon les fabricants et les modèles employés.

4.4.3. Durée de vie des membranes d'osmose inverse

Il est très difficile de déterminer exactement la durée de vie des membranes d'osmose inverse. En effet, la durée de vie dépend de la nature de la membrane mais aussi de ses conditions d'utilisation [27].

4.4.4. Limitation de l'osmose inverse

Le colmatage est l'ensemble des mécanismes qui limitent le flux de perméation à travers une membrane, il résulte de l'accumulation de macromolécules à la surface ou à l'intérieur des membranes [28]. On distingue 4 catégories de colmatage :

- La précipitation des composés inorganiques sur la membrane (l'entartrage) ;
- La formation du dépôt par des particules ou des matières organiques sur la membrane ;
- La formation du biofilm (le bio-colmatage) ;
- L'adsorption dans la membrane.



Figure II.10 : Membrane colmatée

4.4.4.1. Colmatage des membranes

Le colmatage est le processus qui a pour conséquence une diminution des performances de la membrane, provoquée par le dépôt de solides suspendus ou dissous sur la surface externe de cette dernière, et sur ou à l'intérieur des pores de cette membrane. Ce problème de colmatage est le plus aigu des problèmes rencontrés en filtration membranaire, ce sujet fait l'objet de nombreuses études de recherche

portant sur la modélisation de colmatage ou les mécanismes de colmatage ou les indices de colmatage.

4.4.4.2. Colmatage par entartrage

L'entartrage sur une membrane est principalement causé par [29]:

- Le dépassement de la limite de solubilité des composants inorganiques, c'est-à-dire qu'il y a une sursaturation [29] ;
- L'augmentation rapide de la vitesse de déposition : Des sels sursaturés vont précipiter sur la surface de la membrane et construire une couche fine qui bloque le transfert de matière à travers la membrane ;

L'entartrage a toujours lieu à la surface de la membrane car la concentration des sels est augmentée près de la membrane par la polarisation de concentration [29].

4.4.5. Le nettoyage et décolmatage des membranes

Le nettoyage consiste à éliminer d'une surface donnée toute souillure visible ou invisible pouvant s'y trouver. Ceci est réalisé par la détergence, processus selon lequel les agents colmatants sont détachés de la surface où ils sont fixés, et mis en solution ou en suspension, et qui est la résultante de plusieurs phénomènes physico-chimiques survenant aux interfaces dans le système support/souillure/détergent [30].

4.4.5.1. Méthodes de décolmatage des membranes :

1. Méthode physiques de décolmatage

Nous pouvons décrire à ce stade les procédés hydrauliques de décolmatage comme une optimisation possible du fonctionnement de la technique de filtration sur membrane. Il existe plusieurs méthodes physiques de décolmatage : le backflush, le backpulse et la méthode par ultrasons.

1.1. Backflush (rétrolavage ou contre lavage)

La technique du contre-lavage ou rétrolavage (backflush) est une méthode physique de décolmatage qui consiste à effectuer des rétrofiltrations brèves et périodiques par pressurisation du compartiment perméat du système membranaire. Cette technique, qui est utilisée industriellement, est parfois associée en complément d'un nettoyage chimique. Les rétrolavages consistent à inverser le sens d'écoulement au travers de la membrane et le gradient de pression de façon à envoyer le perméat au

travers de la membrane et ainsi permettre l'évacuation du dépôt et des particules participant au blocage des pores.

Le « backflush » a l'effet bénéfique d'éliminer tout ou une partie du colmatage interne des pores, et éviter l'effet de compactage de la couche d'encrassement sur la surface membranaire. L'efficacité du décolmatage dépend de la solution à filtrer, du type de colmatage (réversible/irréversible, interne/externe), de la fréquence et de l'amplitude de rétrolavage.

Quoi qu'il en soit, les rétrolavages, quel que soit leur mode de mise en œuvre, ne permettent généralement pas d'assurer la restauration intégrale à long terme de la perméabilité des membranes ; ainsi, il est d'usage de pratiquer des nettoyages chimiques.

1.2. Backpulse

Une technique très proche du rétrolavage, est le « backpulse ». La pression transmembranaire est inversée une fois toutes les 5 secondes sur une durée inférieure à la seconde (0,1 - 1 seconde), avec le but d'éliminer le dépôt de la surface de la membrane. Cela permet d'augmenter le flux net (calculé sur la base de gain de perméat moins ce qui est perdu durant la rétrofiltration). Cette technique a l'avantage de permettre un décolmatage in-situ et est utilisée industriellement.

Les techniques « backflush » et « backpulse » ne peuvent être employées qu'avec des membranes de résistance mécanique suffisante pour éviter le décollement de la peau active.

1.3. Décolmatage par ultrasons

L'effet des ultrasons est relié au phénomène de cavitation : déformation, croissance et implosion de bulles formées quand une forte pression est appliquée à un milieu liquide. La destruction de cavité a une énergie suffisante pour vaincre les interactions et ainsi enlever la matière encrassante de la surface membranaire. L'intensité des vibrations des ondes ultrasonores doit toutefois être contrôlée pour ne pas détériorer la membrane

II.3.3. Utilisations de l'eau déminéralisée

Au niveau du complexe sidérurgique d'El-Hadjar L'eau déminéralisée est destinée spécialement pour :

- L'alimentation de la chaudière
- Le refroidissement des chaudières si la température est assez élevée. Pour éviter les phénomènes d'entartrage et de corrosion, à titre d'exemple : Les lances, les puits de lance, les goulottes d'addition et les lingotières.
- Le refroidissement des systèmes de captation des gaz et des poussières des convertisseurs [16].

III. ANALYSE ET CONTROLE DE LA QUALITE DES EAUX

III.1. PRESENTATION DU LABORATOIRE SIDERURGIQUE

Le laboratoire central de SIDER a pour missions : d'établir le programme de la qualité de l'eau et son application dans tous les centres ; d'élaborer et contrôler l'application de consignes de traitement des eaux ; d'effectuer la synthèse et l'analyse des rapports d'exploitation des départements et enfin de veiller à la disponibilité et à la qualité des produits chimiques. Il composé de quatre (04) laboratoires : Le laboratoire des huiles, le laboratoire de spectroscopie, le laboratoire de la matière première et le laboratoire des eaux.

- **Laboratoire des huiles** : Son rôle est de faire les analyses physico-chimiques suivantes : point éclair, indice de réfraction, sédiment, pH, teneur en eau, densité, acidité, viscosité à 40°C.
- **Laboratoire de spectroscopie** : Son rôle est de faire des analyses spectrales pour les métaux de l'usine et pour les additifs.
- **Laboratoire de matière première** : Son rôle est de faire des analyses des matières suivantes : Acier à chaud, Laitier, mesurant les paramètres suivants : Indice partiel, Indice totale, etc.
- **Laboratoire des eaux** : Son rôle est de contrôler la qualité des eaux sidérurgique qui sert à la production.

III.2. PARAMETRES PHYCICO-CHIMIQUE ANALYSES

III.2.1. Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence d'hydrogénocarbonates (HCO_3^-), de carbonates (CO_3^{2-}), d'ions hydroxydes (OH^-) et d'une façon plus limitée aux ions silicates (HSiO_3^-), phosphates (PO_4^{3-}) [16].

On distingue :

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

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

Il est déterminé par neutralisation à l'aide d'une solution d'acide sulfurique N/50 normale. La phénolphtaléine permet de détecter le point de virage du rose vers l'incolore, vers pH 8,3.

Le titre alcalimétrique complet (TAC) : mesure la somme des alcalis libres, des carbonates et des bicarbonates :

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

Il est déterminé également par neutralisation acide jusqu'au virage de l'héliantine (méthyl-orange) du jaune au rose-orangé, vers pH 4,3.

III.2.2. La dureté

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

Type de dureté:

-La dureté calcique correspond seulement aux ions calcium.

-La dureté magnésienne correspond seulement aux ions magnésium.

-TH totale est la somme de la dureté calcique et magnésienne.

-La dureté carbonatée ou temporaire La dureté carbonatée correspond à la partie de la dureté totale, chimiquement équivalente à la quantité de bicarbonates présents dans une eau.

-La dureté non carbonatée ou permanente Ce type de dureté est en général associée aux sulfates, chlorures, nitrates. On ne peut pas l'éliminer ou faire précipiter par ébullition.

La détermination du TH est basée sur la formation du complexe entre les alcalino-terreux et le sel disodique de l'acide éthylène-diamine tétracétique (EDTA) en présence de noir ériochrome T en milieu convenablement tamponné (AFNOR NFT 30-003).

La dureté calcique ou titre hydrotimétrique calcique T_{Ca} est déterminé également par complexométrie à l'EDTA en présence de la murexide en milieu très basique [23].

La dureté magnésienne ou titre hydrotimétrique magnésien T_{Mg} est calculé à partir du TH et du T_{Ca} .

III.2.3. Teneur en Chlorures

Les chlorures sont mesurés selon la méthode AFNOR NFT 90-014. Ils sont dosés en milieu neutre par une solution de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium comme indicateur.

III.2.4. pH

Le pH mesuré par la méthode électrochimique AFNOR NFT 90-008 à l'aide d'un pH-mètre METROHM 632. Il est muni d'une électrode combinée indicatrice du pH en lieu coaxial avec une électrode de référence argent/chlorure d'argent et d'une sonde de compensation de température. Sa partie annulaire externe contient une solution gélifiée de chlorure de potassium KCl à 4 M, saturée de chlorure d'argent AgCl.

Lors de la mesure, l'échantillon est homogénéisé à l'aide d'un agitateur magnétique. La valeur du pH est lue après stabilisation du pH-mètre.

III.2.5. Conductivité

La conductivité est mesurée par la méthode ISO 7888 à l'aide d'un conductimètre PHYWE. Il est muni d'une cellule dont la constante $K=1$ et d'une sonde de compensation de température.

Plusieurs échelles de mesure permettent de déterminer avec précision la valeur de la conductivité.

III.2.6. Turbidité

La turbidité est mesurée par la méthode néphélométrique ISO 7027. Un turbidimètre HACH modèle 18900 est utilisé. Son principe est basé sur la mesure de la dispersion des rayons lumineux par la solution.

Plusieurs échelles de mesure permettent de déterminer avec précision la valeur de la turbidité. Pour chaque échelle l'appareil dispose de solution standard de calibration.

Tableau II.6 : Classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit)

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

Tableau II.7 : Paramètres physico-chimiques étudiés et méthodes de mesure utilisées

Paramètres	Unités	Méthodes	Instruments	Références
Alcalinité(TA)	°f	Volumétrie : titrage acide jusqu'à pH 8,3	-	NFT 90-036
Alcalinité (TAC)	°f	Volumétrie : titrage acide jusqu'à pH 4,3	-	NFT 90-036
Dureté é (TH)	°f	Volumétrie : complexométrie à l'EDTA avec le noir ériochrome T	-	NFT 90-036
Calcium (TCa)	°f	Volumétrie : complexométrie à l'EDTA avec la murexide	-	[23]
Magnésium (TMg)	°f -	Calculé à partir de la dureté totale et de la teneur en calcium	-	-
Chlorures (Cl ⁻)	Mg/l	Méthode de MOHR	-	NFT 90-014
pH		Méthode électrochimique	pH-mètre METROHM 632	
Conductivité	µS/cm	Méthode conductimétrique	Conductimètre PHYWE Modèle 18900 de HACH	NFT 90-008
Turbidité	NTU	Méthode néphélométrique		ISO 7888 ISO 7027

III.2.7. Température

C'est une caractéristique physique importante, elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau des mélanges éventuels.

Sa mesure est nécessaire pour accéder à la détermination du champ de densité et des courants [31].

III.2.8. TDS

Les SDT, ou solides dissous totaux est le total de matières solides dissoutes estime le résidu total qui reste après évaporation d'un échantillon d'eau qui a été filtré afin d'enlever les matières solides en suspension de plus de 1 mm de grosseur.

III.3. TYPES D'EAUX ANALYSEES

III.3.1. Eau brute

L'eau brute désigne l'eau qui n'a subi aucun traitement et qui peut alimenter une station de production d'eau potable [32].

Prélèvement

Le prélèvement des échantillons se fait directement à partir de la vanne d'eau brute on utilisant des flocons de plastique d'un 1,5 L.

III.3.2. Eau usée industrielle

L'eau usée industrielle désigne l'eau résiduaire qui provient des différents usages industriels. Les caractéristiques de ces eaux sont extrêmement variables et directement liées au type d'industrie, en fonction leurs caractéristiques, elles peuvent être envoyées au réseau des eaux pluviales ou des eaux usées.

Prélèvement

Le prélèvement des échantillons se fait dans des flacons de plastique d'une capacité de 1,5 L. ces dernières doivent restés fermées et transportées au laboratoire dans une glacière pour éviter l'évaporation.

IV.DETERMINATION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

L'analyse des caractéristiques physico-chimiques présente un rôle très important dans le contrôle de qualité de l'eau, d'où la nécessité qu'elle soit réalisée à la fois au cours et après le traitement.

IV.1. DETERMINATION DU TITRE HYDROMETRIQUE « TH »

1-Principe :

La détermination du TH est basé sur la formation de complexes entre les alcalino-terreux et le sel disodique de l'acide éthylène-diamine tétra-acétique (EDTA) en présence de noir ériochrome T en milieu tamponné.

2-Mode opératoire :

- ✓ On prélève 100ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer;
- ✓ On verse environ 2ml de la solution tampon ;
- ✓ On ajoute 4 à 5 gouttes de noir ériochrome T ;
- ❖ Si la coloration est bleu nous concluons une absence de calcium (Ca^{+2}) et magnésium (Mg^{+2}) ;
- ❖ Si la coloration est rose violet, nous déduisons une présence de calcium (Ca^{+2}) et magnésium (Mg^{+2}) dans l'échantillon étudié ;

Pour ceci, il sera nécessaire de procéder à un titrage avec l'EDTA jusqu'à l'obtention de la coloration bleue. On lit directement sur la burette le TH exprimé en degré français ($^{\circ}\text{F}$).

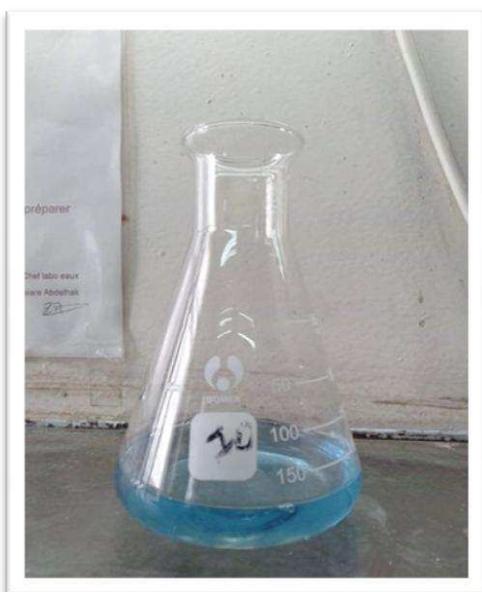


Figure II.11: Absence de Ca^{2+} et Mg^{2+}

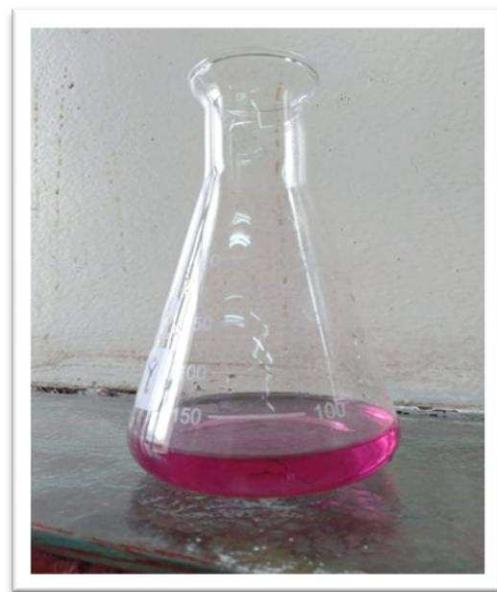


Figure II.12 : Présence de Ca^{2+} et Mg^{2+}

3-Expression des résultats :

V : Volume de la solution d'EDTA lu à la burette et qui exprime le TH en °F.

Pour convertir le TH en milligrammes de CaCO₃ au litre,

On a : 1 °F = 10 mg de CaCO₃ /L

IV.2. DETERMINATION DE L'ALCALINITE « TA - TAC »

1-Principe :

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré, mesurés par la méthode volumétrique appliquée au laboratoire central Arcelor -Mittal.

2-Mode opératoire :

Détermination de TA :

- ✓ On prélève 100ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer ;
- ✓ On ajoute 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine.
- ✓ Une coloration rose doit alors se développer ; dans le cas contraire le TA est nul.
- ✓ On verse ensuite lentement l'acide sulfurique dans l'erlenmeyer à l'aide d'une burette graduée, en agitant constamment jusqu'à décoloration complète de la solution. Le pH est alors de l'ordre de 8.3.
- ✓ On lit directement sur la burette le TA exprimé en degré français (°F).

Détermination de TAC :

- ✓ On utilise l'échantillon traité précédemment, ou la prise d'essai primitif s'il n'y a pas de coloration.
- ✓ On ajoute deux à trois gouttes de solution de méthylorange, on verse ou on continue à verser à l'aide de la burette le même acide, en agitant constamment, jusqu'au virage du jaune au jaune orangé. Le pH est alors de l'ordre de 4.3.
- ✓ On note le volume lu à la burette au moment du nouveau virage.



Figure II.13 : Dosage volumétrique de TAC

3-Expression des résultats :

V_1 : volume d'acide en millilitres lu à la burette et exprime le TA en °F.

V_2 : volume d'acide en millilitre lu à la burette.

Retrancher ce volume V_2 de 0,5 ml correspond à la quantité d'acide nécessaire pour le virage de l'indicateur, qui est un peu plus faible que le pH de neutralisation des bicarbonates. Par conséquent $V_2 - 0.5$ exprime le TAC en °F

Pour convertir, ensuite, le TA et le TAC en milligrammes de CaCO_3 au litre,

On a : $1^\circ\text{F} = 10 \text{ mg de CaCO}_3 / \text{L}$

IV.3. DETERMINATION DU TITRE CALCIQUE

1-Principe :

La détermination du T_{Ca} est basée sur la formation de complexes entre les ions calcium et le sel disodique de l'acide éthylène-diamine tétra-acétique (EDTA) en présence du carboxylique en milieu tamponné.

2-Mode opératoire :

- ✓ Prélever 100 ml d'eau à analyser ;
- ✓ Ajouter 2ml de KOH et environ 0,4 g de l'indicateur ;
- ✓ Mélanger et doser immédiatement. Ajouter la solution d'EDTA tout en continuant d'agiter ;

- ✓ Verser lentement en fin de dosage, le virage est atteint lorsque la couleur devient nettement bleue.
- ✓ On lit directement sur la burette le TCa^{++} exprimé en degré français ($^{\circ}\text{F}$).



Figure II.14 : Dosage de Ca^{2+}

3-Expression des résultats :

V : volume de la solution d'EDTA lu à la burette et qui exprime le TCa^{++} en $^{\circ}\text{F}$.

Pour convertir le TH en milligrammes de CaCO_3 au litre,

On a : $1^{\circ}\text{F} = 10\text{mg de CaCO}_3 / \text{L}$

IV.4. DOSAGE Du CHLORURE

1-Principe :

C'est le dosage du chlore combiné à des chlorures par le nitrate d'argent, en présence de chromate de potassium comme indicateur.

2-Mode opératoire :

- ✓ Prélever 100 ml d'eau à analyser ;
- ✓ Ajouter 1 ml de chromate de potassium ;
- ✓ Dans le cas où la coloration est rouge brique nous concluons une absence des chlorures.

- ❖ Si la coloration est jaune, nous déduisons une présence des chlorures dans l'échantillon étudié ; pour ceci, il sera nécessaire de procéder à un titrage avec le nitrate d'argent à 0,1 N jusqu'à l'apparition d'une teinte rouge brique.
- ✓ On lit directement sur la burette le volume de nitrate d'argent.



Figure II.15 : Présence de Cl⁻

3-Expression des résultats :

V : Volume de nitrate d'argent lu directement sur la burette dont la teneur en ions chlorure est mesuré par la relation :

$$\text{Cl}^- \text{ (en mg/L)} = V \text{ nitrate d'argent en ml} \times 35,5$$

Avec : V : volume du nitrate d'argent en ml ; 35,5 : est la masse molaire du chlore

IV.5. DETERMINATION DE pH

1-Principe :

Le pH de l'eau à analyser est déterminé à l'aide d'un pH mètre équipé d'une électrode de verre étalonnée.

2-Le pH mètre :

Le pH mètre est constitué d'une électrode que l'on plonge dans la solution dont on veut connaître l'acidité ; les valeurs du pH s'affiche alors sur l'écran du pH-mètre. L'électrode doit être bien rincée à l'eau distillée avant chaque mesure et l'appareil doit être régulièrement étalonné pour que les mesures soient fiables.

3-Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en unités de pH à la température de l'eau.

IV.6. DETERMINATION DE LA CONDUCTIVITE

1-Principe :

La conductivité de l'eau à analyser est déterminée à l'aide d'un conductimètre muni de deux électrodes de verre étalonnées.

2-Le conductimètre

Cet appareil de mesure est constitué d'une électrode que l'on plonge dans la solution dont on veut connaître la salinité totale ; le résultat s'affiche sur l'écran du conductimètre. L'électrode doit être bien rincée à l'eau distillée avant chaque mesure et l'appareil doit être régulièrement étalonné pour que ses mesures soient fiables.

3-Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en unités de $\mu\text{s} / \text{cm}$ à la température de l'eau. Grâce au facteur de conversion, la conductivité sera exprimée en TDS en mg / L .

IV.7. DETERMINATION DES MATIERES EN SUSPENSION

1-Principe :

L'analyse s'effectue par une méthode photométrique. La mesure se fait à l'aide d'un instrument « spectro H Dr 5000 » qui n'exige aucune étape de filtration ou pesage.

2-Mode opératoire :

- ✓ Sélectionner sur le spectrophotomètre le programme d'analyse : MES ;

- ✓ Etalonner l'appareil avant de mesurer l'échantillon ;
- ✓ Prélever dans une cuve l'échantillon d'eau à analyser ;
- ✓ La valeur de MES sera affichée directement sur l'écran de l'appareil.

3-Expression des résultats :

Les valeurs lues sur l'écran de l'appareil expriment la teneur en MES en mg /L.

V. RESULTATS ET DISCUSSION

Pour une analyse large des résultats trouvés et enregistrés dans des tableaux et pour savoir plus sur la qualité de l'eau à travers les différentes étapes de traitement, ainsi sur l'efficacité du procédé d'osmose inverse, on a tracé les courbes déterminants les différents paramètres de ce traitement.

1-L'alcalinité TA

Les résultats obtenus précédemment sur l'alcalinité sont représentées dans la figure II-16 montre que :

-L'alcalinité des eaux bruts est nulle sur toute la période de notre étude. Ceci indique que le pH de l'eau brute est inférieur à 8,3.

-Les fluctuations des valeurs de TA (de 0,3 à 7,8°F) pour l'eau industrielle est peut-être dû au mauvais traitement de l'eau.

-L'alcalinité des eaux osmosée est égales à 0. Ce qui indique un bon traitement par osmose inverse.

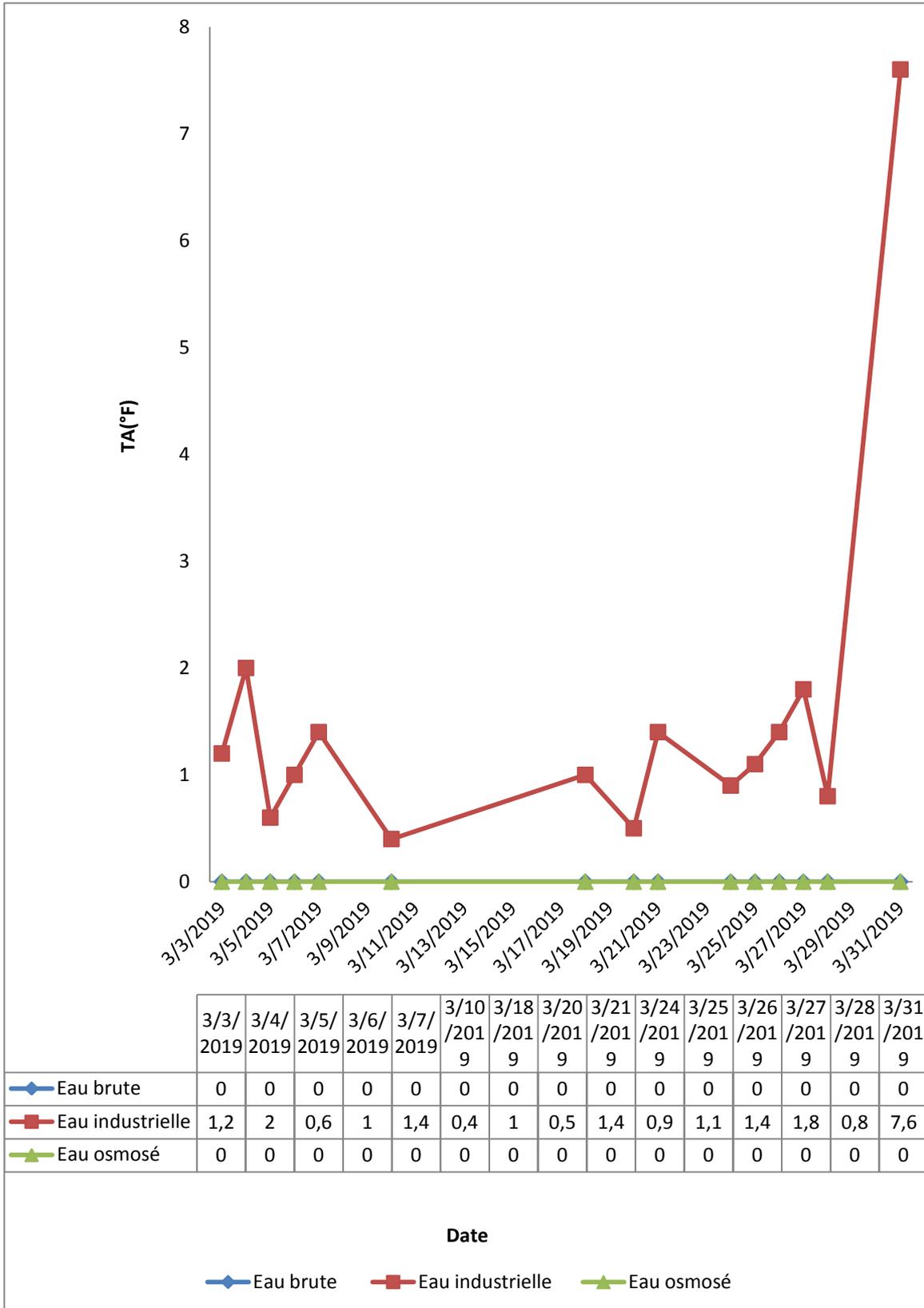


Figure II.16 : Variation du titre alcalimétrie simple TA des trois eaux (brute, industrielle et déminéralisée)

TAC :

On remarque que les valeurs de l'alcalinité mesurées durant notre période d'étude varient entre 6,5°F et 26°F à l'eau brute et 5°F à 16°F enregistrées à la sortie.

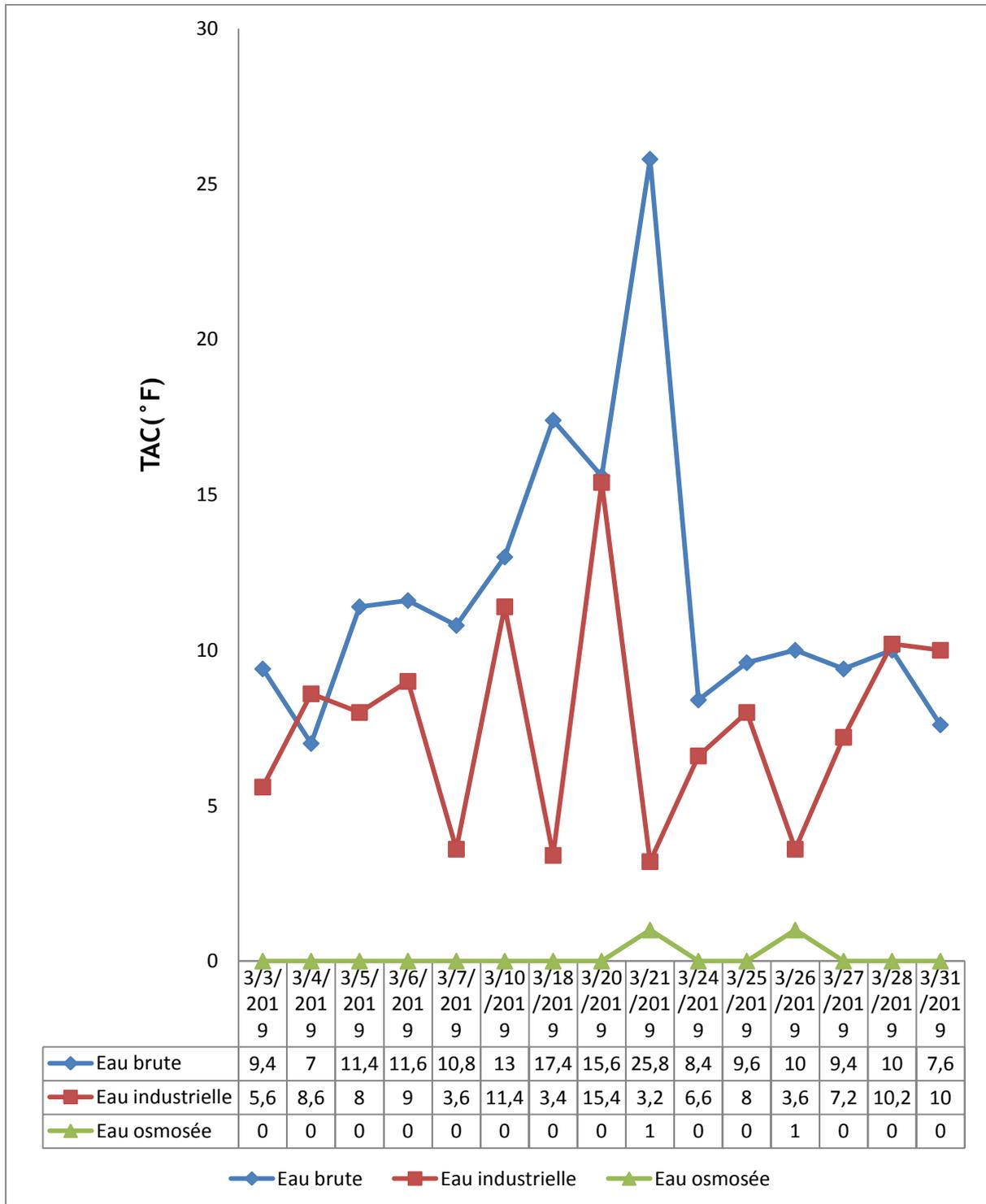


Figure II.17 : Variation du titre alcalimétrie complet TAC des trois eaux (brute, industrielle et déminéralisée)

Le titre hydrométrique (TH)

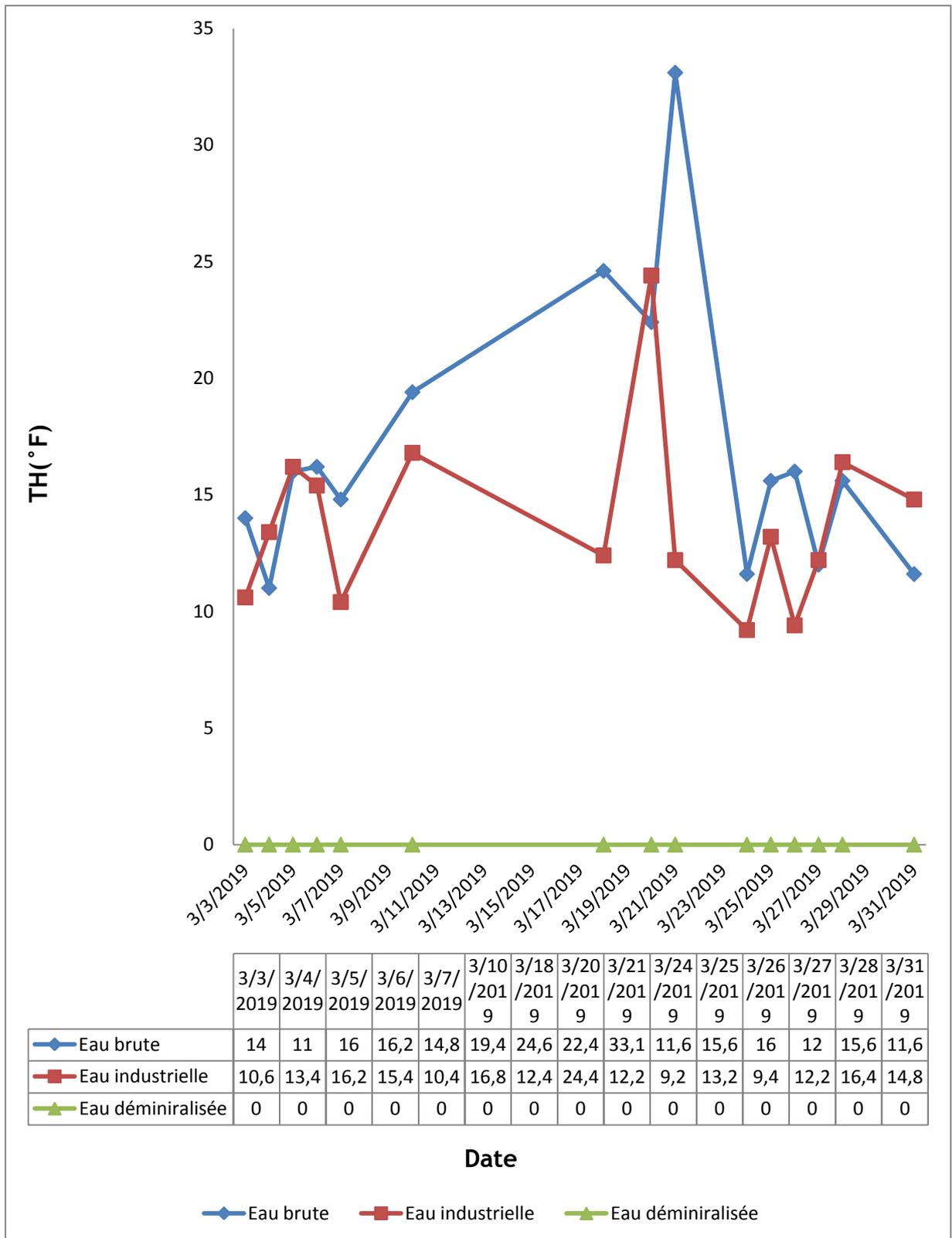


Figure II.18 : Variation de la dureté totale TH des trois eaux (brute, industrielle et déminéralisée)

Les résultats obtenus concernant le Titre Hydrométrique des différents échantillons analysés sont présentés dans la figure II.18.

La dureté d'une eau correspond essentiellement à la somme des concentrations en cations alcalino-terreux.

Eau brute : Les résultats obtenus montrent que la dureté varie entre 10°F et 35°F, avec une moyenne de 16.9°F.

Eau industrielle : Les résultats obtenus montrent que la dureté varie entre 8°F et 25°F, avec une moyenne de 13.8°F.

Eau déminéralisé : les valeurs obtenus sont conformes aux normes des eaux traitées par osmose inverse (<1 °F)

- ✓ 0 à 5 °F une eau est très douce.
- ✓ 5 à 15 °F une eau est douce.
- ✓ 15 à 25 °F une eau est moyennement dure.
- ✓ 25 à 35 °F une eau est dure

TCa²⁺ et TMg²⁺ :

Les figures II.19 et II.20 présentent les variations journalières des ions de calcium et de magnésium des eaux brutes et industrielles.

D'après les résultats obtenus, on trouve que :

-La valeur de calcium, se situent dans un intervalle de 7°F à 25°F à l'entrée avec une moyenne de 12.46°F et 6°F à 17°F ; enregistrées à la fin du traitement, avec une moyenne de 10.21°F.

-La valeur de magnésium à l'eau brute, se situent dans un intervalle qui va d'un minimum de 2°F à un maximum de 8.8°F, et à l'eau traite entre 0.2°F et 7.8°F, Malgré qu'on a fait le traitement mais les valeurs restent supérieures aux normes de l'OMS (3°F).

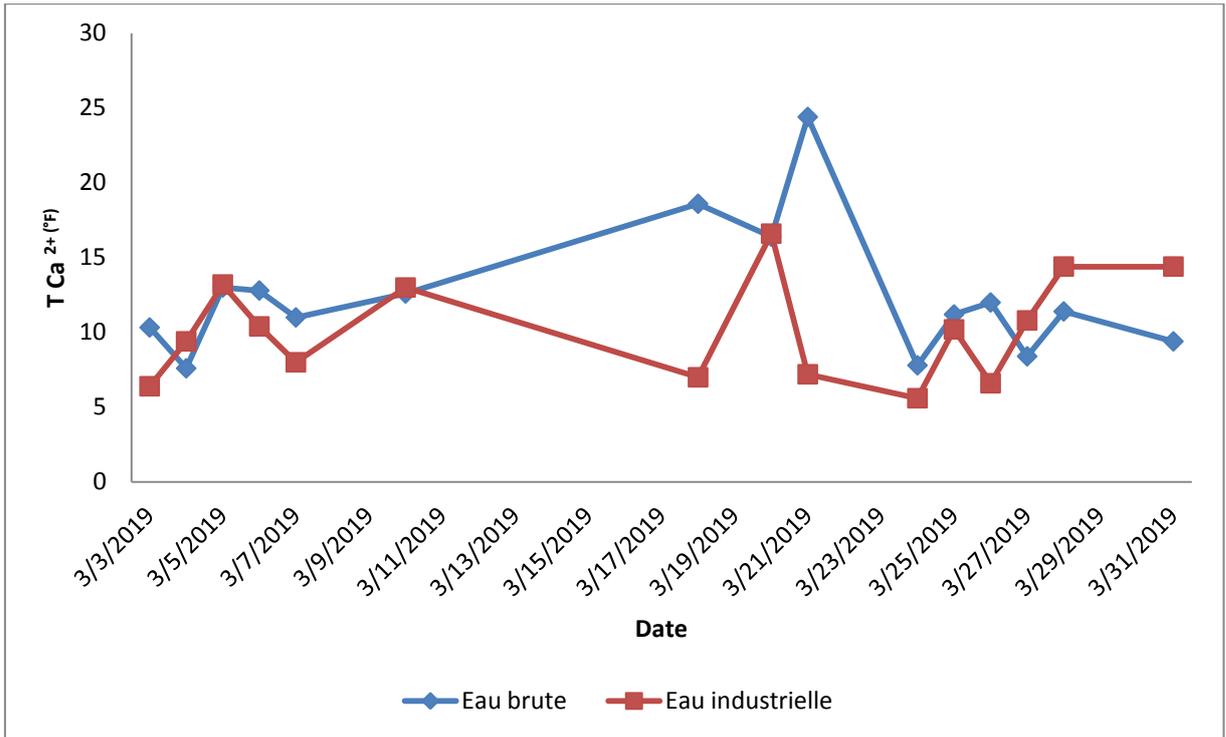


Figure II.19 : Variation de la dureté calcique $T_{Ca^{2+}}$ des deux eaux (brute et industrielle)

TMg^{2+} :

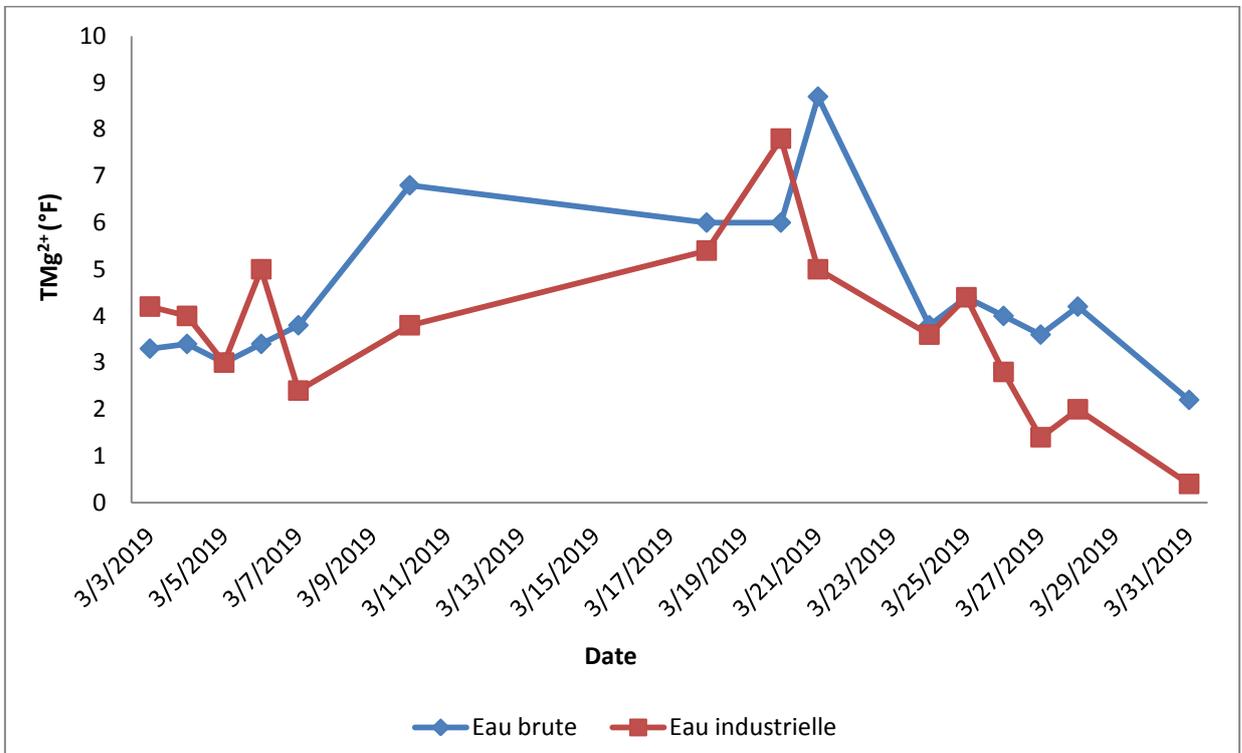


Figure II.20 : Variation de la dureté magnésienne TMg^{2+} des deux eaux (brute et industrielle)

D'après les résultats obtenus, la valeur de magnésium à l'eau brute, se situent dans un intervalle qui va d'un minimum de 2°F à un maximum de 8.8°F, et à l'eau traite entre 0.2°F et 7.8°F, Malgré qu'on a fait le traitement mais les valeurs restent supérieures aux normes OMS (3°F).

Cl⁻ :

La variation des ions de chlorure des deux types d'eau examinée est présentée sur la figure II.21

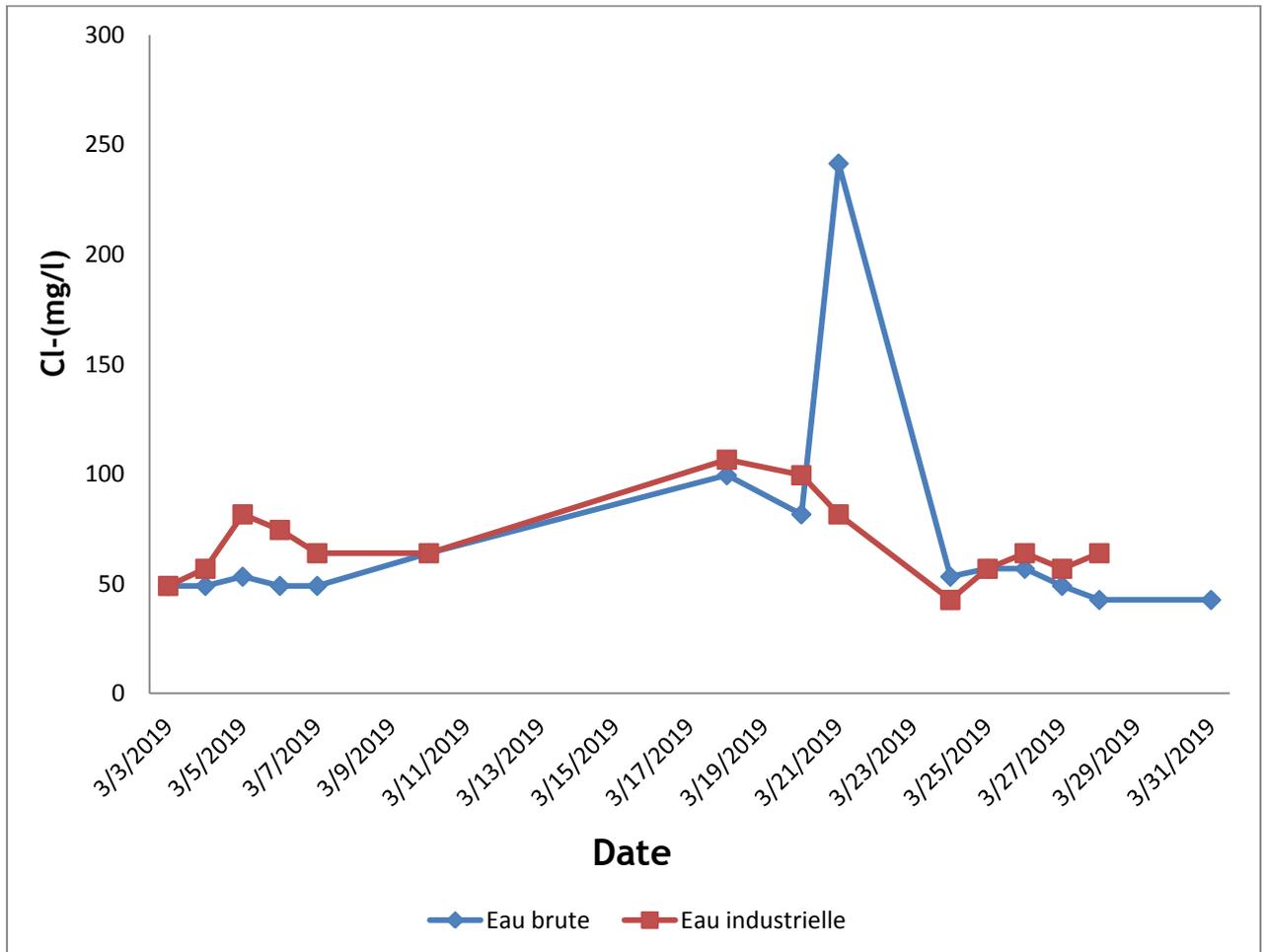


Figure II.21: Variation des chlorures dans l'eau brute et dans l'eau industrielle

Les teneurs en chlorures des eaux brutes sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés.

D'après les résultats obtenus les valeurs des concentrations du chlorure, se situe dans un intervalle de 40°F à 240°F pour les eaux brutes et 40°F à 110°F, enregistrées

pour les eaux industrielles. Ces valeurs dépassent largement les normes recommandées pour les eaux traitées qui est de 60°F.

pH :

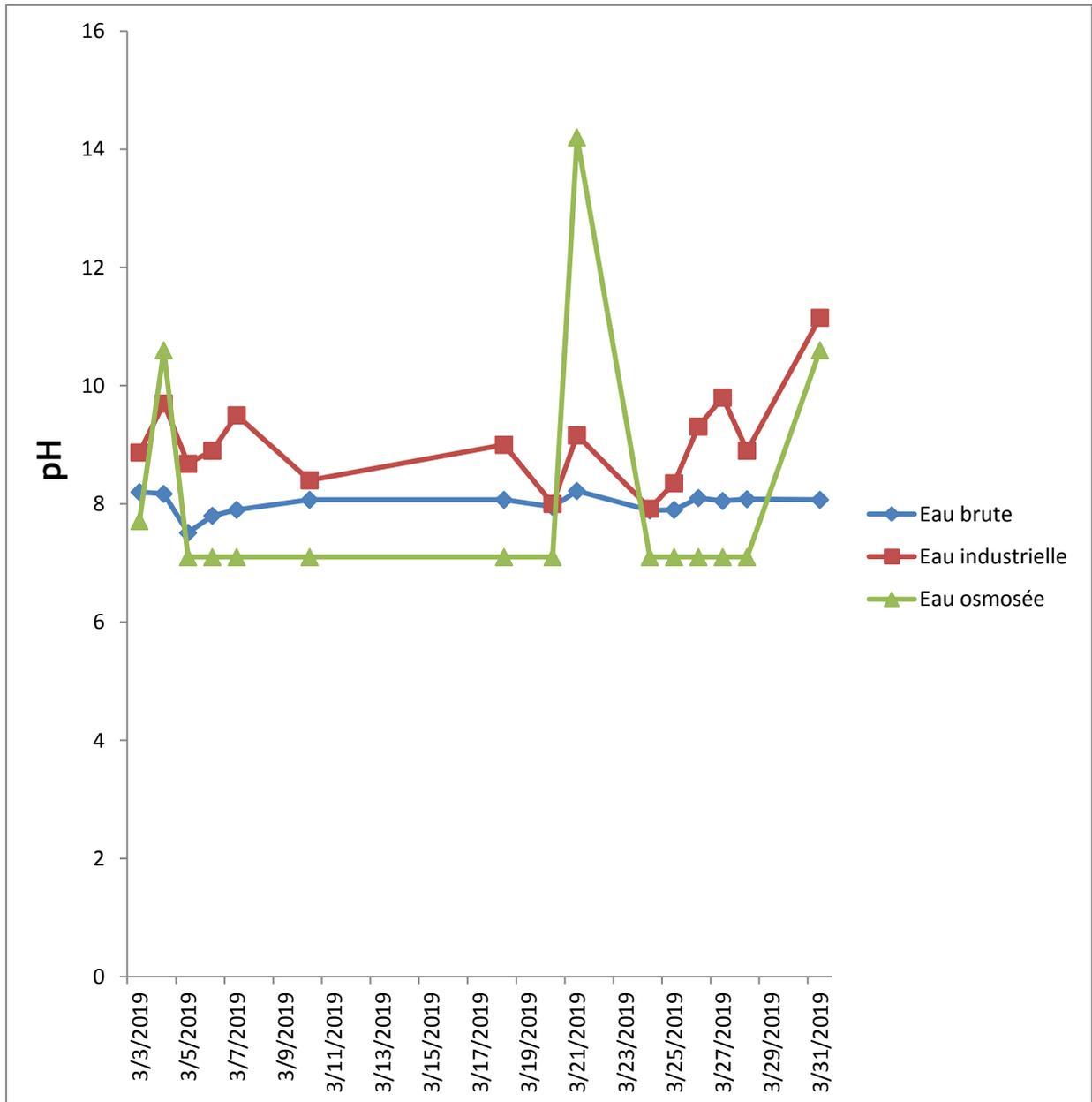


Figure II.22 : Variation du pH des trois eaux (brute, industrielle et déminéralisée)

D'après la figure II.22 qui représente l'évaluation du pH de l'eau brute, industrielle et déminéralisée en fonction de la période d'étude, on trouve que les pH de tous nos échantillons sont des valeurs basiques. Cela est expliqué par une élévation de

température qui engendre une augmentation du CO₂ dissous qui va provoquer une hausse du pH.

Concernant le pH des eaux déminéralisées, il est constaté que l’eau osmosée est relativement neutre. En effet, les pH obtenus varient entre 7 et 8. Cette variation est due principalement à la déminéralisation de l’eau, car les membranes d’Osmose Inverse retiennent les sels minéraux et compris les ions hydrogénocarbonate. Une eau osmosée de pH 5,8 environ est conforme à la norme.

TDS :

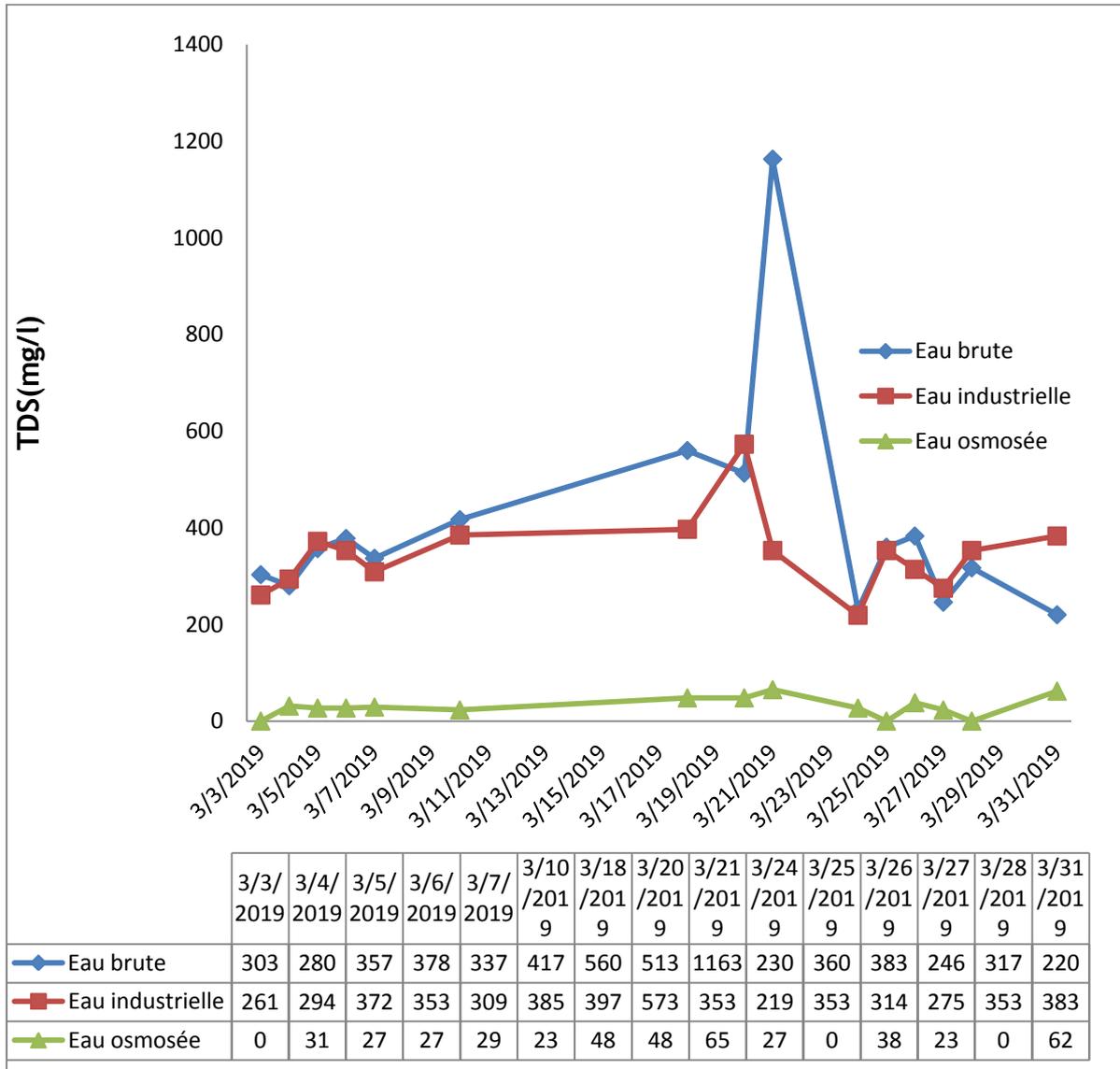


Figure II.23 : Variation de TDS des trois eaux (brute, industrielle et déminéralisée)

D'après la figure II.23 qui représente la variation des taux des sels dissous TDS dans l'eau brute, l'eau industrielle et dans l'eau déminéralisée au cours de la période de stage, on trouve :

-Une diminution considérable taux des sels dissous dans les eaux industrielles

-Une réduction importante de la valeur de TDS, entre l'entrée et la sortie d'eau dans des osmoseurs. Toutes ces valeurs sont nettement suffisantes et indiquent le bon fonctionnement des 4 osmoseurs.

Température :

La variation de la température des deux types des eaux étudiées est présentée sur la figure II.24.

L'examen de cette figure montre que les températures sont entre 15 et 20°C c'est la période de transition entre les périodes froide et chaude.

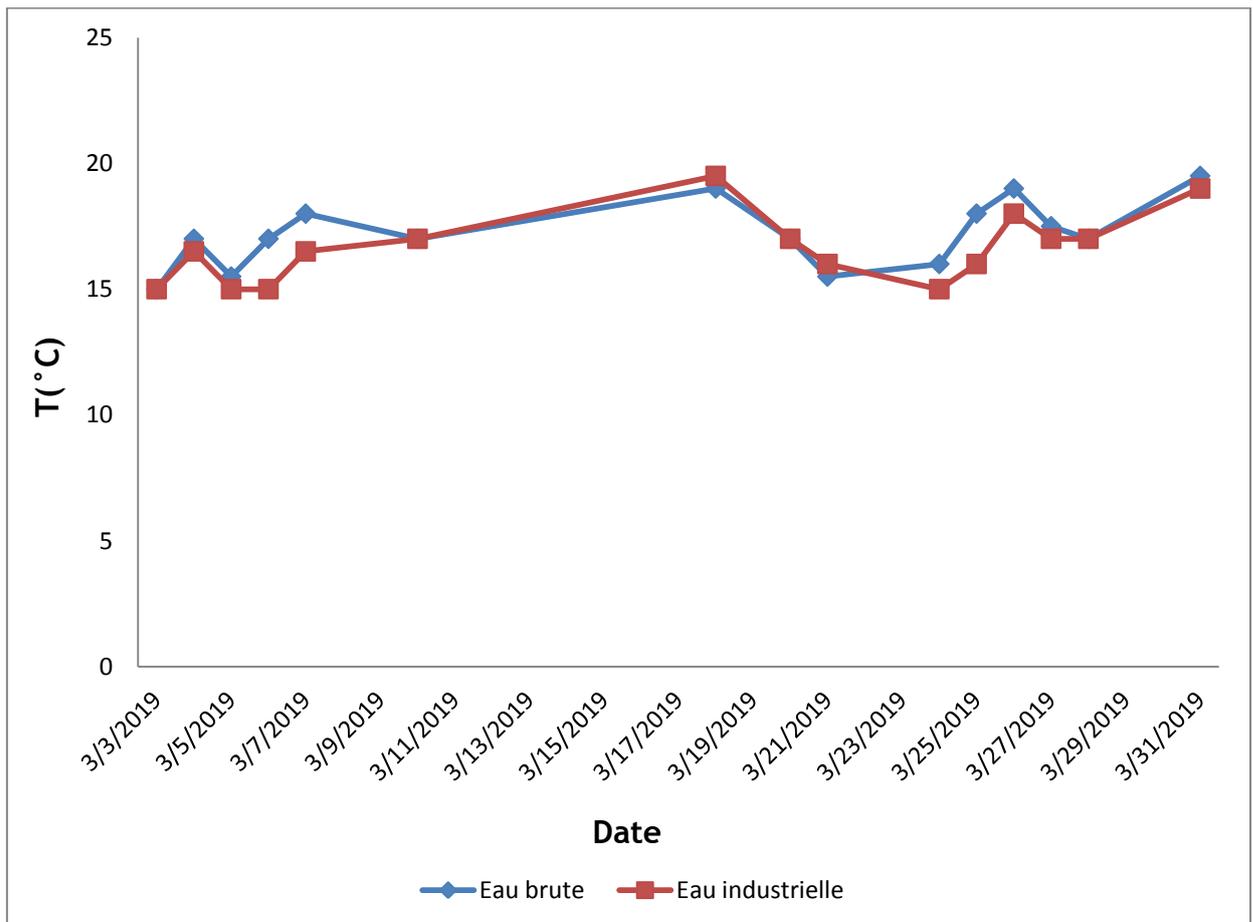


Figure II.24 : Variation de la température des deux eaux (brute et industrielle)

Conductivité :

La figure 25 résume les mesures de la conductivité des principaux échantillons analysés.

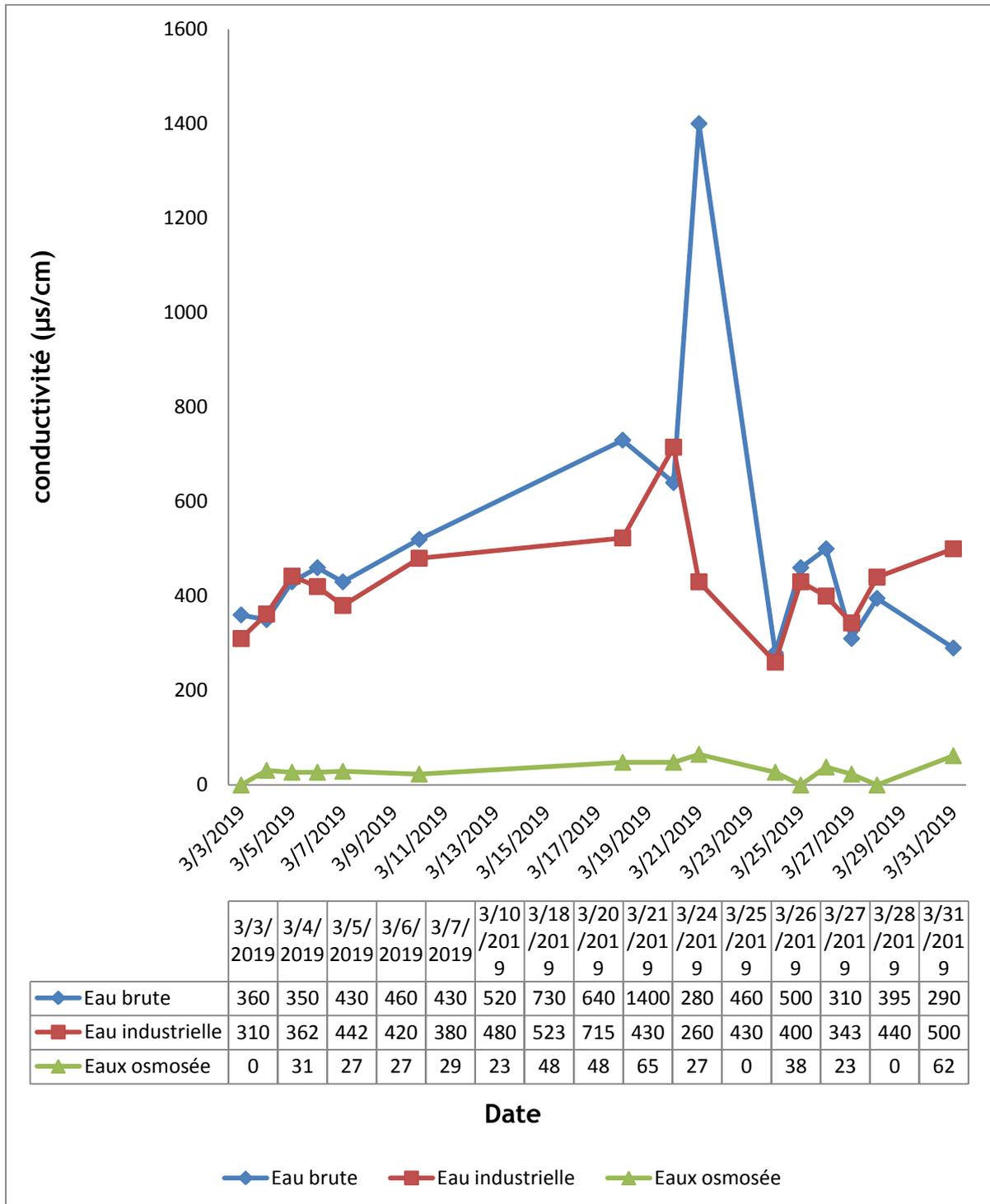


Figure II.25 : Variation de la conductivité électrique des trois eaux
(Brute, industrielle et déminéralisée)

Les valeurs de la conductivité électrique de tous nos échantillons d'eaux sont comprises entre 270-1400 $\mu\text{S}/\text{Cm}$. ($<2800\mu\text{S}/\text{Cm}$).

D'après cette figure, on constate aussi que les membranes denses de l'osmoseur ont éliminés la quasi-totalité des ions présentent dans l'eau d'alimentation, cette rétention à fait baisser la conductivité moyenne dans l'eau osmosée aux alentours de 35 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces résultats confirment effectivement le rôle important que jouent les membranes d'OI ainsi que leurs efficacités dans la séparation des particules de l'eau.

CONCLUSION

Selon les résultats obtenus par les différentes analyses effectuées au cours de ce stage pratique, les osmoseurs de l'unité osmose inverse produisent une eau osmosée très satisfaisante. En effet, les valeurs de pH, conductivité ainsi TAC, TH, sont conformes.

En revanche, l'analyse des résultats de la dureté et la teneur en chlorure des eaux industrielles a montré un léger dysfonctionnement dans le procédé de traitement cela est peut-être dû à l'ancienneté de quelques équipements de la chaîne de production d'eau industrielle et l'absence de rénovations.

CONCLUSION GENERALE

L'eau, lors de son transport ou son utilisation dans les installations industrielles, notamment les chaudières, peut causer aux différents matériaux avec lesquels elle est en contact des altérations de diverses natures dont les plus fréquentes : la corrosion et l'entartrage.

Ces deux phénomènes sont particulièrement dangereux car ils peuvent conduire à des ruptures et des explosions qui mettent en péril la durée de vie de l'installation, augmentent les coûts d'exploitation et entraînent des problèmes de sécurité et de perte de vie.

Afin de réduire ces dégâts, il est indispensable que les eaux utilisées dans l'industrie soient traitées. Les méthodes de traitement sont très variables selon la composition de l'eau brute. D'une manière générale l'eau doit être débarrassée des matières solides en suspension, dessalée, déminéralisée, dégazée puis conditionnée par addition d'espèces réductrices

Cette étude avait pour objectif d'étudier la production et l'utilisation des eaux dans l'industrie et de suivre la qualité des eaux industrielle, brute et osmosée de la zone Est du complexe sidérurgique d'El-Hadjar-Annaba à travers l'analyse de différents paramètres physico-chimiques.

Notre étude a été axée sur le suivi des paramètres physico-chimiques qui sont : l'alcalinité, la dureté, pH, la turbidité, la température, les chlorures, les matières en suspension (MES), la conductivité et les solides dissous totaux (TDS).

Les valeurs de pH gravitent autour de la neutralité avec une tendance vers l'alcalinité respectant la norme de rejet délimitée entre 6,5 et 8,5

L'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes. Elle varie entre 5° F à 16 °F enregistrées pour les eaux industrielles.

Les différentes analyses effectuées au cours de ce stage pratique ont montré que les osmoseurs de l'unité osmose inverse produisent une eau osmosée très satisfaisante. En effet, les valeurs de pH, conductivité ainsi TAC, TH, sont conformes.

En revanche, l'analyse des résultats de la dureté et la teneur en chlorure des eaux industrielles a montré un léger dysfonctionnement dans le procédé de traitement

cela est peut-être dû à l'ancienneté de quelques équipements de la chaîne de production d'eau industrielle et l'absence de rénovations.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] F.HRRLEKAS ; « Couplage des procédés membranaires aux technique physicochimiques ou biologique pour le traitement des rejets liquides de l'industrie de textile », Thèse de doctorat, université cad i ayyad, de MARRAKECH, Maroc, 2008.
- [2] Satin, M., Selmi, B, Guide technique de l'assainissement, 3ème édition le moniteur référence technique, Paris, 2006.
- [3] D.H. W. A Direction de l'hydraulique wilaya d'Ain Defla, Etude du système d'épuration des eaux usées des villes de Khemis Miliana et Miliana, wilaya d'Ain Defla, 2010.
- [4] Monode 3. Mémento technique de l'eau. Tomel. Ed : Deremont France, 1989
- [5] Hadjou Belaid Z, « Contribution à l'étude des dysfonctionnements relevés dans une station d'épuration, étude du cas : STEP d'Ain El Houtz », Mémoire de master en hydraulique, Université Abou-Bakr Belkaid de Tlemcen, Algérie, 2013.
- [6] MEKHALIF Faiza, « Reutilization des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement», université du 20 Aout 1955, Skikda, mémoire de magistère, Algérie, 2009.
- [7] Gaid A, « Épuration biologique des eaux usées urbaines tome I », édition OPU, Alger, 1984
- [8] Vilaginès, R, Eau, environnement et santé publique, 2ème édition, Parise, (2000).
- [9] Satin, M., Bourrier, R., Selmi, B. Guide technique de l'assainissement, 4 ème édition, le moniteur référence technique, Parise, 2010.
- [10] Michel RAOULT. La vapeur -mode d'emploi, réseaux thermiques et équipements sous pression, édition Parisiennes 2003.
- [11] Jean philibert, Alain Vignes, Yves Bréch, Pierre Combrade. Métallurgie du minerai au matériau, édition MASSON.
- [12] C.FUVELLE. Introduction à la corrosion -Formes et prévention.
- [13] C. Chaussin et G .Hilly .Métallurgie- alliages métalliques, tome1, édition Dunode 1976.

- [14] Robert PERRIN et Jean -Pierre SCHAREF .Chimie industrielle, 2^eédition.
- [15] C.FUVELLE. Introduction à la corrosion -Formes et prévention.
- [16] Jacques LECONTE .Tuyauteries -Protection contre la corrosion, Technique de l'ingénieur, Machines hydrauliques et thermiques.
- [17] Franck Rejsek .Analyse des eaux -Aspects réglementaires et techniques.
- [18] Memento technique de l'eau, tome1, édition du cinquantenaire1989.
- [19] Raymond Desjardins. Le traitement des eaux, édition de l'école Polytechnique de Montréal ,2^e édition.
- [20] Pour la protection des circuits d'eau .Tiré à part de la revue CFP (janvier 2001).
- [21] A. BOUVENOT. Transferts de chaleur, édition MACCON.
- [22] Jean-Jacques Lamoureux .Précis de corrosion .édition MASSON 1994.
- [23] Article rédigé par Viviane Renaudin, relu par Guillaume champion, Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ,18 novembre 2003.
- [24] René BOUIGE et DANIEL COUILLARD. Traité pratique de chauffage, édition J-B BAILLIERE.
- [25] Les eaux brutes destinées à la potabilisation .Office International de l'eau -Janvier 2000, Mise à jour : Août 2002.
- [26] Cyril GOMELLA et Henri GUERREE .Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées, édition Eyrolles 1978,deuxième édition.
- [27] H. UHLIG .Corrosion et protection, édition DUNOD 1970.
- [28] Francis NORDMANN et Gérard PINARDLERY .Chimie de l'eau et corrosion dans les REP, Technique de l'ingénieur, traité Génie nucléaire.
- [29] Jean-Louis CROLET et Gérard BERANGER .Corrosion en milieu aqueux des métaux et alliages, Technique de l'ingénieur, Traité Matériaux métalliques.
- [30] Jean -Claude BOEGLIN .Traitement physico-chimiques de la pollution insolubles, Technique de l'ingénieur, traité environnement.

[31] Mr: LEFKIR .Séminaire de corrosion et d'anticorrosion -corrosion dans les chaudières ,30-31 mai 92 -SIDER- ANNABA.

[32] J.J Rameau .Corrosion dans les chaudières générateurs d'énergie thermique.3eme école magrébin de corrosion 'KENITA' .mars 1995.

Annexe

Tableau II.8 : Résultats des analyses de l'eau brute le mois de mars de l'année 2019.

Date	TA	TAC	TH	Ca ²⁺	Mg ⁺²	Cl ⁻	pH	TDS	MES	T °C	Conductivité
	°F	°F	°F	°F	°F	mg/L		mg/l	mg/l		(µs /cm)
03/03/2019	0	9.4	14	10.33	3.3	49	8.2	303	72	15	360
04/03/2019	0	7	11	7.6	3.4	49	8.17	280	142	17	350
05/03/2019	0	11.4	16	13	3	53.2	7.51	357	108	15.5	430
06/03/2019	0	11.6	16.2	12.8	3.4	49	7.8	378	104	17	460
07/03/2019	0	10.8	14.8	11	3.8	49	7.9	337	59	18	430
10/03/2019	0	13	19.4	12.6	6.8	63.9	8.07	417	40	17	520
18/03/2019	0	17.4	24.6	18.6	6	99.4	8.07	560	20	19	730
20/03/2019	0	15.6	22.4	16.4	6	81.6	7.95	513	25	17	640
21/03/2019	0	25.8	33.1	24.4	8.7	241.4	8.22	1163	112	15.5	1400
24/03/2019	0	8.4	11.6	7.8	3.8	53.2	7.89	230	594	16	280
25/03/2019	0	9.6	15.6	11.2	4.4	56.8	7.9	360	197	18	460
26/03/2019	0	10	16	12	4	56.8	8.1	383	110	19	500
27/03/2019	0	9.4	12	8.4	3.6	49	8.05	246	692	17.5	310
28/03/2019	0	10	15.6	11.4	4.2	42.6	8.08	317	486	17	395
31/03/2019	0	7.6	11.6	9.4	2.2	42.6	8.07	220	383	19.5	290

Tableau II.9 : Résultats des analyses de l'eau industrielle le mois de mars de l'année 2019.

Date	TA	TAC	TH	Ca ²⁺	Mg ⁺²	Cl ⁻	pH	TDS	MES	T °C	Conductivité
	°F	°F	°F	°F	°F	°F		mg/l	mg/l		(µs /cm)
03/03/2019	1.2	5.6	10.6	6.4	4.2	49	8.87	261	16	15	310
04/03/2019	2	8.6	13.4	9.4	4	56.8	9.7	294	34	16.5	362
05/03/2019	0.6	8	16.2	13.2	3	81.6	8.68	372	28	15	442
06/03/2019	1	9	15.4	10.4	5	74.5	8.90	353	41	15	420
07/03/2019	1.4	3.6	10.4	8	2.4	63.9	9.5	309	57	16.5	380
10/03/2019	0.4	11.4	16.8	13	3.8	63.9	8.4	385	38	17	480
18/03/2019	1	3.4	12.4	7	5.4	106.5	9	397	8	19.5	523
20/03/2019	0.5	15.4	24.4	16.6	7.8	99.4	8	573	22	17	715
21/03/2019	1.4	3.2	12.2	7.2	5	81.6	9.16	353	34	16	430
24/03/2019	0.9	6.6	9.2	5.6	3.6	42.6	7.92	219	458	15	260
25/03/2019	1.1	8	13.2	10.2	4.4	56.8	8.35	353	136	16	430
26/03/2019	1.4	3.6	9.4	6.6	2.8	63.9	9.31	314	19	18	400
27/03/2019	1.8	7.2	12.2	10.8	1.4	56.8	9.8	275	40	17	343
28/03/2019	0.8	10.2	16.4	14.4	2	63.9	8.9	353	43	17	440
31/03/2019	7.6	10	14.8	14.4	0.4	53.2	11.15	383	478	19	500