



FACULTE : Sciences de l'Ingénierat  
DEPARTEMENT : Génie des Procédés

## MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de **MASTER**

**DOMAINE : Sciences et Techniques**

**FILIERE : Génie des Procédés**

**OPTION : Génie de l'environnement**

## Thème

**SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX DE LA ZONE-EST DU  
COMPLEXE SIDERURGIQUE D'EL-HADJAR**

**Présenté par:**

**KEZZOULA Chahra**

**Dirigé par :**

**Dr. BENDEBANE Farida**

**Jury de soutenance:**

- |                      |           |     |                      |
|----------------------|-----------|-----|----------------------|
| • ISMAIL Fadhel      | Président | Pr  | Université de Annaba |
| • ABIDI Abdennabi    | Examineur | MCA | Université de Annaba |
| • HAMMOUCHE Karima   | Examineur | MAA | Université de Annaba |
| • LACHGAR Mohamed .S | Examineur | MAA | Université de Annaba |

**Promotion : Juin 2018**

## **REMERCIEMENTS**

*Ce travail a été réalisé au niveau de La division fluide (FLU) du Complexe Sidérurgique SiderAnnaba, dans le cadre de l'obtention du diplôme de fin d'études en Master II, option Génie des procédés de l'environnement*

*Premièrement louange à Dieu qui m'a fournis de la patience au moment de besoin, de la force au moment de la faiblesse et de la volonté contre le désespoir, et aussi on le remercie car il ma mis dans des bonnes mains.*

*Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à mon encadreur Pr.ISMAIL Fadhel et Dr. BENDEBANE Farida qui a bien voulu me soutenir, m'orienter, me guider et m'aider au cours de la préparation de ce travail.*

*Je remercie aussi les membres de l'équipe de La division fluide Siderpour m'avoir aidé à accomplir mon stage pratique avec les meilleures conditions requises.*

*Je ne saurais oublier de remercier l'ensemble du personnel du laboratoire de traitement des eaux du complexe Sidérurgique Sidersurtout Monsieur Far. A, Ziyar. A, Lynda, Maatar. S pour leurs aides et leurs gentillesse au cours de stage.*

*Je remercie tous les enseignants de département de génie des Procédés qui ont contribué à ma formation. Je tiens à adresser mes remerciements à ceux qui m'ont encouragé et participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## **DEDICACE**

*Je dédie ce mémoire à :*

*Mes chers parents pour leur soutien moral et financier.*

*Ma sœur unique Yasmin, mon frères Amar.*

*Tous mes amis (es) et spécialement Labiba et Imen*

*Je dédie ce travail spécialement à Bendebene.Farida.et je remercie sincèrement pour son aide à tout moment de besoin*

*A mes collègues de la promotion 2017-2018*

*Sans oublier également ma famille*

*Enfin a tous ceux que j'aime.*

**CHAHRA**

## TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>2</b>
<b>CHAPITRE I : PRESENTATION DU COMPLEXE SIDERURGIQUE</b>	
I.1. Historique du complexe .....	4
I.1.2.Situation géographique du complexe .....	5
I.1.3.Principales activités .....	6
I.1.4. Organigramme du complexe .....	7
I.2. La division fluide (FLU) .....	9
I.2.1. Organisation de la division des fluides .....	9
I.2.2. La distribution et la protection de l'eau industrielle.....	10
I.2.3.Production et utilisation de l'eau déminéralisée.....	17
I.2.4. Distribution et la protection de l'air service .....	18
I.2.5. Distribution et la protection de la vapeur saturée.....	20
I.2.6. Distribution de l'eau potable .....	20
<b>CHAPITRE II : SEPARATION MEMBRANAIRE</b>	
II.1. GENERALITES SUR LES MEMBRANES.....	23
II.1.1. Définition de la membrane .....	23
II.1.2. Vocabulaire membranaire .....	23
II.1.3. Classification des membranes .....	25
II.1.4. Caractéristiques des membranes .....	26
II.2. PROCÉDES MEMBRANAIRES A GRADIENT DE PRESSION.....	27
II.2.1. Microfiltration (MF) .....	27
II.2.2. Ultrafiltration (UF) .....	27
II.2.3. Nanofiltration (NF) .....	27
II.2.4. Osmose inverse (OI) .....	28
II.3. MEMBRANES UTILISEES DANS L'UNITE INDUSTRIEL.....	29
II.3.1. Membrane de l'ultrafiltration UF.....	29
II.3.2. Membrane de l'osmose inverse OI .....	34
<b>CHAPITRE III : PARTIE EXPERIMENTALE</b>	
III.1.INTRODUCTION.....	36
III.2. LABORATOIRES D'ANALYSES .....	36
III.2.1.Laboratoire sidérurgique : Cas d'El-Hadjar.....	36

III.3. PARAMETRES PHYCICO-CHIMIQUE ANALYSES.....	37
III .4. EAUX ANALYSEES.....	39
III.4.1. Eau brute.....	39
III.4.2.Eau industrielle .....	40
III.5. RESULTATS DE L'EAU BRUTE ET DE L'EAU INDUSTRIELLE.....	40
III.6.ULTRAFILTRATION .....	48
III.6.1. Caractéristiques de l'eau industrielle.....	48
III.6.2 Principe de l'ultrafiltration.....	49
III.6.3. Description de l'unité de l'UF.....	49
III.6.4. Résultats de l'UF.....	50
III.7.Osmose inverse .....	53
III.7.1 Qualité de l'eau traitée par osmose à produire.....	53
III.7.2 Membrane de l'osmose inverse.....	54
III.7.3 Principe de fonctionnement.....	55
II.7.4 Résultats de l'OI.....	56
III.8. CONCLUSION.....	61
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>64</b>
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	66
Annexe 01 .....	70
Annexe 02 .....	80

## ***LISTE DES FIGURES***

<b>Figure. I.1</b> : Image satellite du complexe d'EL HADJAR.....	6
<b>Figure I.2:</b> Racks conduites (vapeur – gaz – eau – air).....	9
<b>Figure I.3</b> : Réserve du complexe.....	11
<b>Figure.I.4</b> : Conduite d'arrivée d'eau.....	11
<b>Figure.I.5</b> : Salle EBS.....	11
<b>Figure I.6</b> : La brise charge.....	12
<b>Figure I.7:</b> Brise charge et décanteur.....	14
<b>Figure I.8</b> : Décanteur.....	14
<b>Figure I.9:</b> Eau débordante du décanteur.....	15
<b>Figure I.10</b> : Filtre à sable.....	16
<b>Figure. I.11:</b> Salle de traitemaent des eaux.....	16
<b>Figure.I.12:</b> Intérieure de la salle de traitement.....	16
<b>Figure.I.13:</b> Installation d'osmose inverse.....	18
<b>Figure.I.14:</b> Installation ultrafiltration.....	18
<b>Figure I.15:</b> Compresseur zone Ouest.....	19
<b>Figure I.16:</b> Compresseur copo atlas à trois étages.....	19
<b>Figure I.17:</b> Chaudière N°1 de la zone Est.....	20
<b>Figure I.18:</b> Station de l'eau potable.....	21
<b>Figure II.1:</b> Procédé de séparation membranaire tangentiel.....	23
<b>Figure II.2</b> : Flux de perméat de l'eau en fonction de la pression transmembranaire	26
<b>Figure II.3</b> : Schéma du principe de l'osmose inverse.....	29
<b>Figure III.1:</b> Variation du titre alcalimétrie simple TA des deux eaux (brute et industrielle) dans la période de stage.....	41
<b>Figure III.2:</b> Variation du titre alcalimétrie complet TACdes deux eaux (brute et industrielle) dans la période de stage.....	42
<b>Figure III.3:</b> Variation de la dureté totale TH des deux eaux (brute et industrielle) dans la période de stage.....	42
<b>Figure III.4:</b> Variation de la dureté calcique $T_{Ca^{2+}}$ des deux eaux (brute et industrielle) dans la période de stage.....	43
<b>Figure II.5:</b> Variation de la dureté calcique $T_{Mg^{2+}}$ des deux eaux (brute et industrielle) dans la période de stage.....	44

<b>Figure III.6:</b> Variation des chlorures dans l'eau brute et dans l'eau industrielle dans la période de stage.....	44
<b>Figure III.7:</b> Variation de TDS des deux eaux (brute et industrielle) dans la période de stage.....	45
<b>Figure III.8:</b> Variation de la conductivité électrique des deux eaux (brute et industrielle) dans la période de stage.....	46
<b>Figure III.9:</b> Variation de MES des deux eaux (brute et industrielle) dans la période de stage.....	46
<b>Figure III.10:</b> Variation de la température des deux eaux (brute et industrielle) dans la période de stage.....	47
<b>Figure III.11:</b> Variation du pH des deux eaux (brute et industrielle) dans la période de stage.....	48
<b>Figure III.12 :</b> Procédé de l'ultrafiltration.....	50
<b>Figure III.13:</b> Variation du pH au cours de la période du test.....	51
<b>Figure III.14:</b> Variation de la pression transmembranaire au cours de la période du test.....	51
<b>Figure III.15:</b> Variation de la turbidité au cours de la période du test.....	52
<b>Figure III.16:</b> Variation du débit de filtrat au cours de la période du test.....	53
<b>Figure III.17: Membrane spirale</b> <b>Figure III.18:</b> Schéma fonctionnel du montage d'osmose inverse.....	54
<b>Figure III.18:</b> Schéma fonctionnel du montage d'osmose inverse (auteur).....	55
<b>Figure III.19 :</b> Evolution de la Haut Pression de l'osmose inverse OI en fonction des jours.....	56
<b>Figure III.20 :</b> Evolution de la température de l'osmose inverse OI en fonction des jours.....	57
<b>Figure III.21 :</b> Evolution de la pression filtre In et Out de l'osmose inverse OI en fonction des jours.....	58
<b>Figure III.22 :</b> Filtre In et Out.....	58
<b>Figure III.23 :</b> Evolution du pH de l'OI en fonction des jours.....	59
<b>Figure III.24 :</b> Evolution de la pression de concentrât de l'osmose inverse OI en fonction des jours.....	59

<b>Figure III.25</b> : Evolution de la pression filtre In et Out de l’osmose inverse OI en fonction des jours.....	60
<b>Figure III.26</b> : Evolution de la pression filtre In et Out de l’osmose inverse OI en fonction des jours.....	61



## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau.1</b> : Résultats des analyses de l'eau brute le mois de mars de l'année 2018....	80
<b>Tableau .2</b> : Résultats des analyses de l'eau industrielle le mois de mars de l'année 2018. ....	81
<b>Tableau .3</b> : Résultats du paramètre d'ultrafiltration le mois de mars de l'année 2018...	82
<b>Tableau.4</b> : Résultats des paramètres d'osmose inverse le mois de mars de l'année 2018.....	83
<b>Tableau I.1</b> : Principale activité du complexe.....	7
<b>Tableau III.1</b> : Caractéristiques de l'eau industrielle.....	48
<b>Tableau III.2</b> : Caractéristique de l'eau traitée par osmose.....	54

## INTRODUCTION GENERALE

Le problème environnemental le plus important dans les industries est celui de la production d'eaux résiduaires. Pour résoudre ce problème, différentes techniques de traitement des eaux sont envisagées[1]. Parmi ces techniques on trouve celle de la séparation membranaire.

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 (industries agroalimentaires, industrie pharmaceutique, etc.). 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 liés 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[2].

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. En effet, elles peuvent être employées en traitement des eaux industrielles. Dans certains cas, ces membranes sont également utilisées comme étapes de finition après l'ultrafiltration et/ou la microfiltration lors du traitement des fluides ou des effluents laitiers[3-5].

Notre objectif dans ce mémoire est de suivre la qualité des eaux brute, eau industrielle, ultra-filtrée et osmosée dans la zone Est du complexe sidérurgique d'El-Hadjar.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres qui suivent l'introduction générale : Dans le premier chapitre on trouve une représentation de l'industrie où le stage de fin d'études a été réalisé.

Le second chapitre est entièrement consacré aux méthodes de séparations membranaires. Le dernier chapitre consiste à l'étude expérimentale.

Et finalement, une conclusion générale qui termine le mémoire.

# **Chapitre I : PRESENTATION DU COMPLEXE SIDERURGIQUE**

## **I.1. Historique du complexe**

L'idée de création d'un grand pôle industriel de sidérurgie à Annaba était prévu dans le plan de Constantine en 1958, où la Société Bônoise de Sidérurgie (SBS) a été créée avec mission de réaliser un haut-fourneau ainsi que ses annexes, mais il n'a pas été réalisé.

La Société nationale de sidérurgie (SNS) a été créée le 3 septembre 1964, chargée de la construction du Complexe sidérurgique d'El HADJAR qui a été inauguré le 19 juin 1969. En 1983, la restructuration de l'industrie algérienne donne naissance à l'entreprise nationale SIDER qui devient un Groupe SIDER en 1995, pour passer de l'entreprise administrée à l'Entreprise Publique Economique (EPE/SPA) avec un plan de redressement en 1999, donnant naissance à 25 entreprises industrielles autonomes (filiales). Le 18 janvier 2001, c'est un partenariat entre LNM (Inde) et SIDER (Algérie) qui donne naissance à Ispat Annaba.

Le complexe d'El HADJAR avait été cédé à Mittal en 2001, qui détenait 70% et 30% par l'Etat algérien à travers Sider. Précisons qu'ArcelorMittal né en 2006 de l'OPA de MittalSteelCompany sur Arcelor, financée par de grands emprunts internationaux, est un groupe sidérurgique mondial, ayant son siège social à Luxembourg étant le plus grand producteur d'acier au monde avec 96,1 millions de tonnes produites en 2013.

Elle fait face à un marché en expansion puisque les débouchés de la sidérurgie, fortement concurrencée par d'autres produits dont les dérivées d'hydrocarbures, sont environ de 27% pour la construction, 16% pour l'automobile, 14% dans la mécanique, 12% dans les tubes et 11% dans les constructions métalliques. ArcelorMittal employait début 2012 environ 260.523 salariés et 239.000 en 2013 dans plus de 60 pays dont 53% en Europe, effectif qui a fortement baissé par de profondes restructurations. ArcelorMittal est une multinationale qui a une stratégie de filières mondialisées et s'implante là où les coûts sont bas et la demande segmentée élevée, animée par la seule rentabilité économique. C'est dans cette logique d'internationalisation face à la concurrence et à la crise mondiale qui a affecté certaines de ses activités selon les informations recueillies à l'international. Du fait de nouveau redéploiement mondial qui a demandé au gouvernement algérien de se retirer de la gestion d'El HADJAR. Les difficultés entre l'Algérie et son partenaire étranger étaient donc connues. C'est ainsi que courant 2013, pour sauver l'unique complexe sidérurgique du pays employant 5000 personnes

d'une cessation d'activité, il a été décidé par le gouvernement de reprendre le contrôle, le groupe public Sider augmentant sa participation dans AMA de 30% à 51% avec un plan d'investissement de 763 millions de dollars (565 millions d'euros) destiné au complexe sidérurgique de Annaba et aux mines de l'Ouenza et de Boukhadra. Une grande partie de l'investissement relatif à la modernisation du complexe, 600 millions de dollars environ, devait être financée à travers un crédit bancaire, dont la banque de Sonatrach(BEA).

L'investissement à engager par les fonds propres des deux partenaires devait être de l'ordre de 123 millions de dollars. ArcelorMittal gardant le management, Sider préside le conseil d'administration, cet accord prévoyait un important plan de développement des ressources humaines au travers de formations intensives destinées aux employés afin de s'adapter aux nouvelles technologies prévues pour le site. L'objectif était d'augmenter la capacité de production du complexe d'El HADJAR (Annaba) à 2,2 millions de tonnes par an, de renforcer les capacités de l'aval par l'implantation d'un nouveau laminoir de rond à béton et de fil machine d'une capacité de 1 million de tonnes. Cela impliquait la modernisation de la filière fonte de Annaba, notamment du haut-fourneau, ainsi que les installations de préparation matière, aciéries et laminoirs existants et la construction d'une nouvelle filière électrique. Lors des négociations en octobre 2013, il avait été prévu que le complexe devrait atteindre sa pleine capacité de production, 2,2 millions de tonnes d'acier, en 2017. Or, le complexe de sidérurgie d'El HADJAR n'a produit en 2012, que 580 000 tonnes d'acier, alors que l'objectif initialement fixé était de parvenir à produire 600.000/700 000 tonnes pour l'année 2012. Et récemment en 2015 le directeur général (DG)du groupe Sider a signalé que la production d'acier du complexe sidérurgique d'El-HADJAR,qui était d'un million de tonnes au départ, depuis, a chuté à 600 000 tonnes, «jusqu'à atteindre, aujourd'hui, 300000 tonnes, contre une demande nationale, pour les seuls ronds à béton et fils pour machines, d'environ 4 millions de tonnes. Cette contreperformance avec des pertes de plusieurs dizaines de millions de dollars est d'autant plus dommageable qu'elle s'inscrit dans le contexte d'une demande très dynamique d'acier sur le marché algérien. Encore que les nouvelles technologies mondiales sont axées sur de nouvelles méthodes de construction qui économisent tant l'énergie, l'acier et le ciment[6] .

### **I.1.2.Situation géographique 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 « 300ha ».
- ✓ Les zone de stockage « 300ha ».
- ✓ Les surfaces des services « 200ha ».

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, etc.)[6].



**Figure. I.1** : Image satellite du complexe d'EL HADJAR.

### **I.1.3.Principale activités**

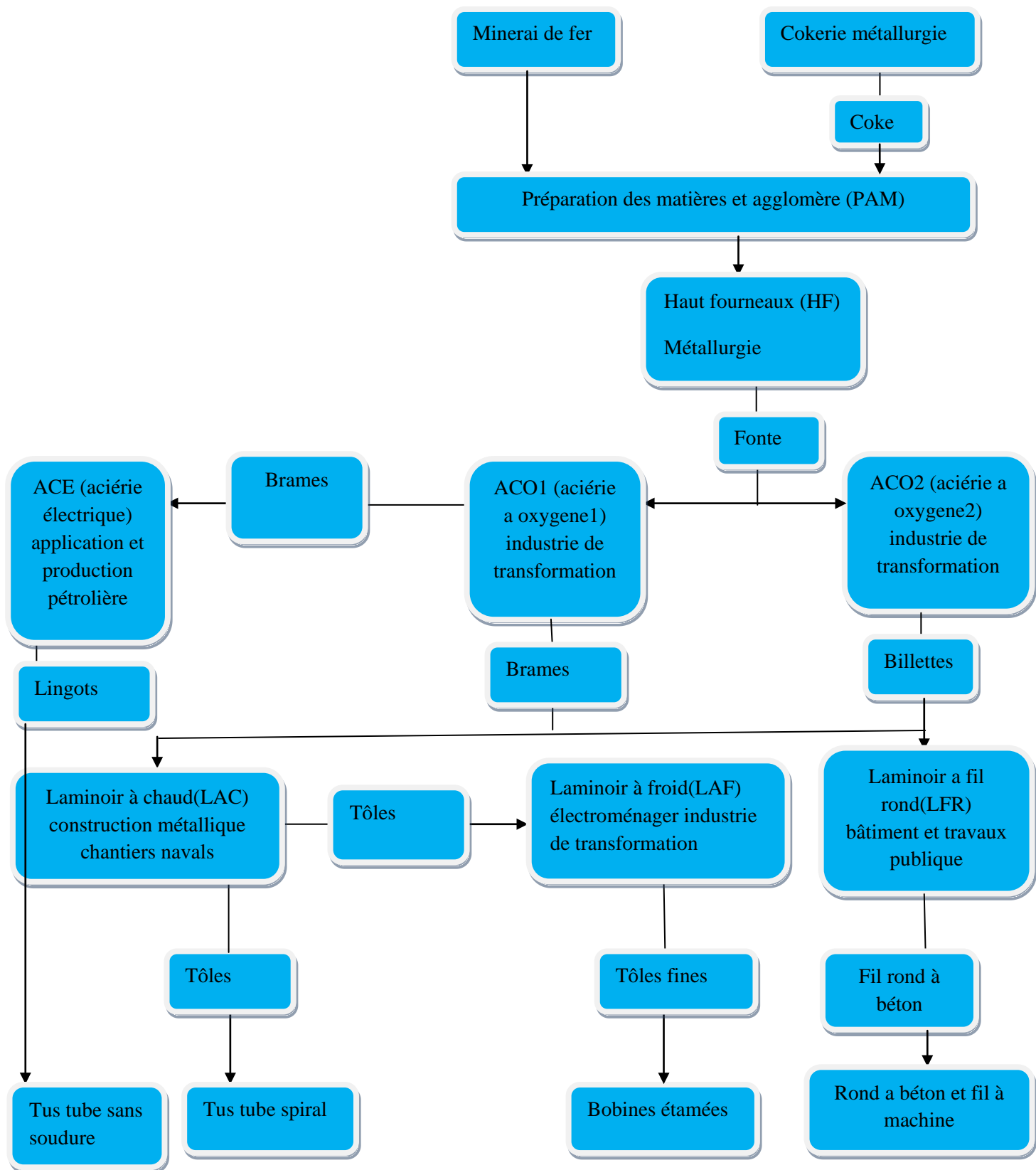
Les principales activités du complexe sont regroupés dans le tableau I.1.

**Tableau I.1** : Principale activité du complexe

<b>Installation</b>	<b>Produits</b>	<b>Principaux utilisateurs</b>
<b>Cokerie</b>	Coke	Métallurgie
<b>HF<sub>1</sub> et HF<sub>2</sub></b>	Fonte	Métallurgie
<b>ACO<sub>1</sub></b>	Brames	Industrie de transformation
<b>ACO<sub>2</sub></b>	Billettes	Industrie de transformation
<b>Laminoir à chaud (LAC)</b>	Tôles forte	Construction métallique Chantiers navals Tube bouteilles à gaz
<b>Laminoir à froid (LAF)</b>	Tôles fines	Electroménager Mobilier métallique Industrie de transformation
<b>Etamage</b>	Fer blanc	Emballage métallique Divers pour les industries Alimentaire et chimique
<b>Galvanisation</b>	Tôles galvanisées	Bâtiments pour l'agronomie Industrie et levage
<b>Aciérie électrique (ACE)</b>	Lingots	Recherche et production pétrolière Transport des hydrocarbures
<b>Laminoir à fil rond (LFR)</b>	Fil rond a béton	Bâtiments et travaux publics Hydraulique

#### **I.1.4. Organigramme du complexe**

L'organigramme ci-dessous nous montre l'organisation des différentes installations ainsi que leurs produits finis avec les principaux utilisateurs[6].



## **I.2 La division fluide (FLU)**

La division fluide s'occupe principalement de la distribution des différents fluides à travers le complexe et assure la protection à partir du réseau de conduite (le rack) tout diamètre confondu qui s'étend à plus de 25 Km.

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.

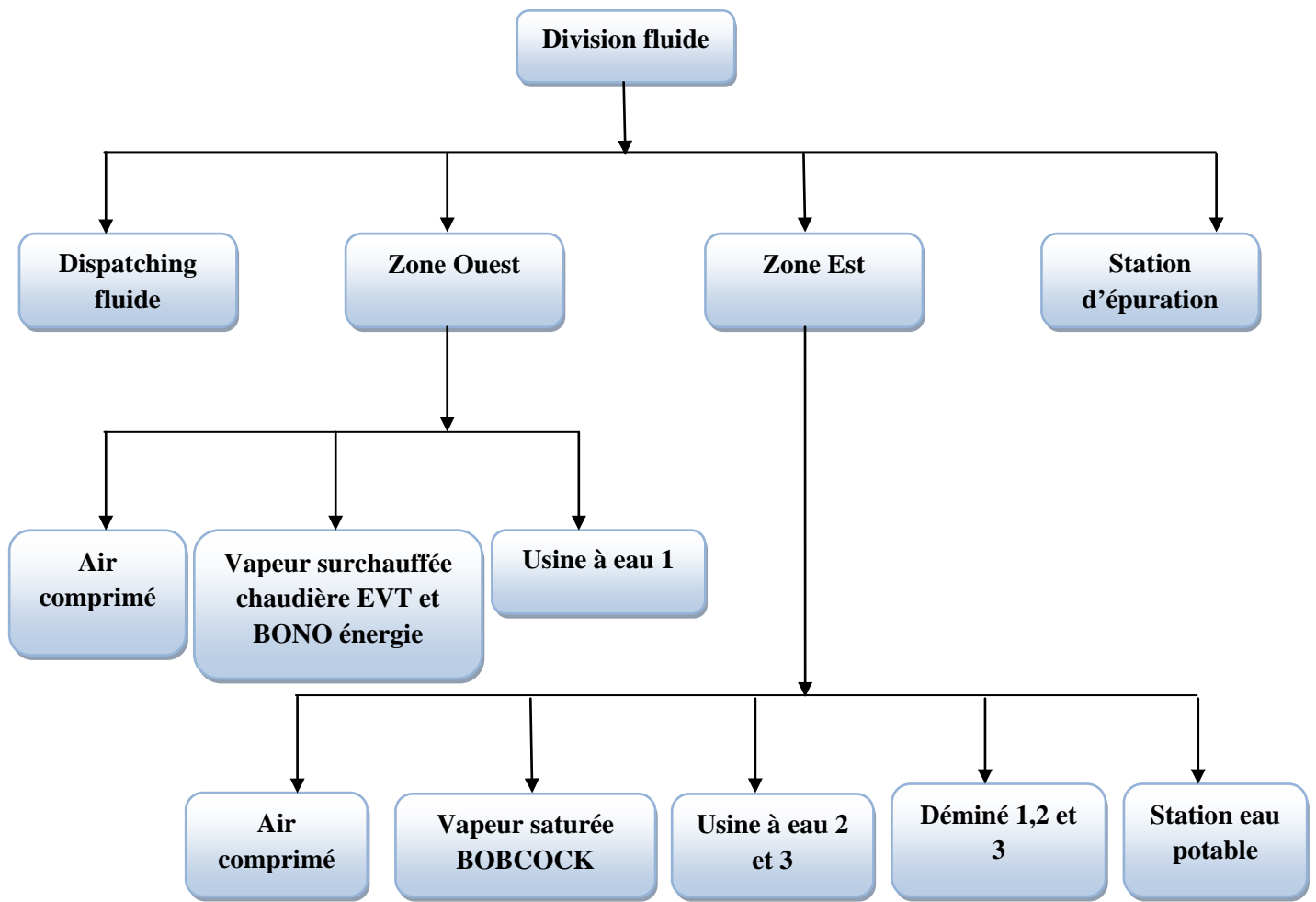


**Figure I.2:** Racks conduites (vapeur – gaz – eau – air).

### **I.2.1. Organisation de la division des fluides**

Cet organigramme nous montre la planification et l'organisation des différents équipements de la division fluide[6].





**Organigramme I.1** : Organisation de la division fluide

### I.2.2. La distribution et la protection de l'eau industrielle

Le processus de convection de l'eau brute en eau industrielle est comme suit :

#### a) 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 1050mm et une pression de 4 bars et un débit de 2000m<sup>3</sup>/heure. L'usine possède une réserve en eau comme montre sur la figure I.3.



**Figure I.3 :** Réserve du complexe.

**b) Arrivée d'eau**

L'eau arrive dans cette conduite (figure I.3) provenant de la réserve privée du complexe qu'on a vu précédemment. La pression dans l'arrivée est régulé dans la salle de pompage EBS figure I.5).



**Figure.I.4 :** Conduite d'arrivée d'eau.



**Figure.I.5 :** Salle EBS.

L'eau qui arrive dans cette conduite arrive avec une grande pression donc elle se dirige directement dans un bassin amortissant appelé aussi le brise charge (figure I.6). 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  $\text{Ca(OH)}_2$ , chlorure ferrique ( $\text{FeCl}_3$ ), polymère ( $\text{Sp}_6$ ).



**Figure I.6 :** La brise charge.

### c) *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 ;  $\text{Fe}^{3+}$  ou  $\text{Al}^{3+}$ . 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[7].
- **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 ( $\text{FeCl}_3$ ).

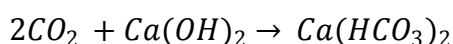
- **Les flocculants** : sont des produits liquides qui permettent de faciliter le contact entre les particules préalablement déstabilisées, déchargées par la coagulation. L'agitation du fluide provoque l'agglomération des pigments comme le polymère (Sp<sub>6</sub>)[8].

#### *d) Décarbonation à la chaux*

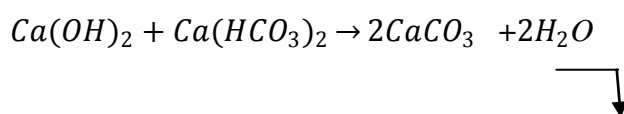
La décarbonation à la chaux est un traitement de précipitation qui a pour effet de réduire la dureté temporaire d'une eau qui est due à la présence des bicarbonates de calcium Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> et de magnésium Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. [9].

La chaux employée sous forme de lait de chaux Ca(OH)<sub>2</sub> précipite les bicarbonates de calcium et de magnésium sous forme de cristaux (petits grains fins). Les réactions de décarbonation sont les suivantes :

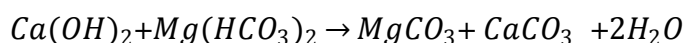
En premier temps, l'eau contient du CO<sub>2</sub> ; celui-ci réagit le premier sur la chaux pour former de l'hydrogénocarbonate de calcium :



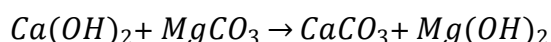
Par conséquent, une augmentation du TAC et de T<sub>Ca<sup>+2</sup></sub> favorise la précipitation du CaCO<sub>3</sub>, selon la réaction :



Si T<sub>Ca<sup>2+</sup></sub> < TAC, on obtient la réaction suivante :



Un excès de chaux conduira à la réaction :



Il suffit de retirer les petits grains contenus dans l'eau pour avoir une eau partiellement épurée [10].



Après avoir été stagné l'eau passe dans le décanteur à travers une conduite souterraine pour purifier l'eau des particules, dans le but d'avoir une eau industrielle de très bonne qualité.



**Figure I.7:**Brise charge et décanteur.

#### *e)Décantation*

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.

Donc, on utilise ce bassin circulaire qu'on appelle le décanteur qui possède un bras pivotant, et ayant un fond conique comme on peut la voir sur la figure I.8. 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.



**Figure I.8 :** Décanteur.

Après avoir été traité l'eau déborde dans ce canal qui va suivre un autre traitement pour être mieux filtré et de bonne qualité possible.



**Figure I.9:** Eau débordante du décanteur.

#### *f) 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, kystes), 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.

Donc, l'eau qui déborde du déconteur et se derrige vers les bassins.Au fond du bassin se trouve des filtres et au dessus du sable où va se faire la filtration de l'eau.On obtient à la fin une eau industielle[9].



**Figure I.10 :** Filtre à sable.

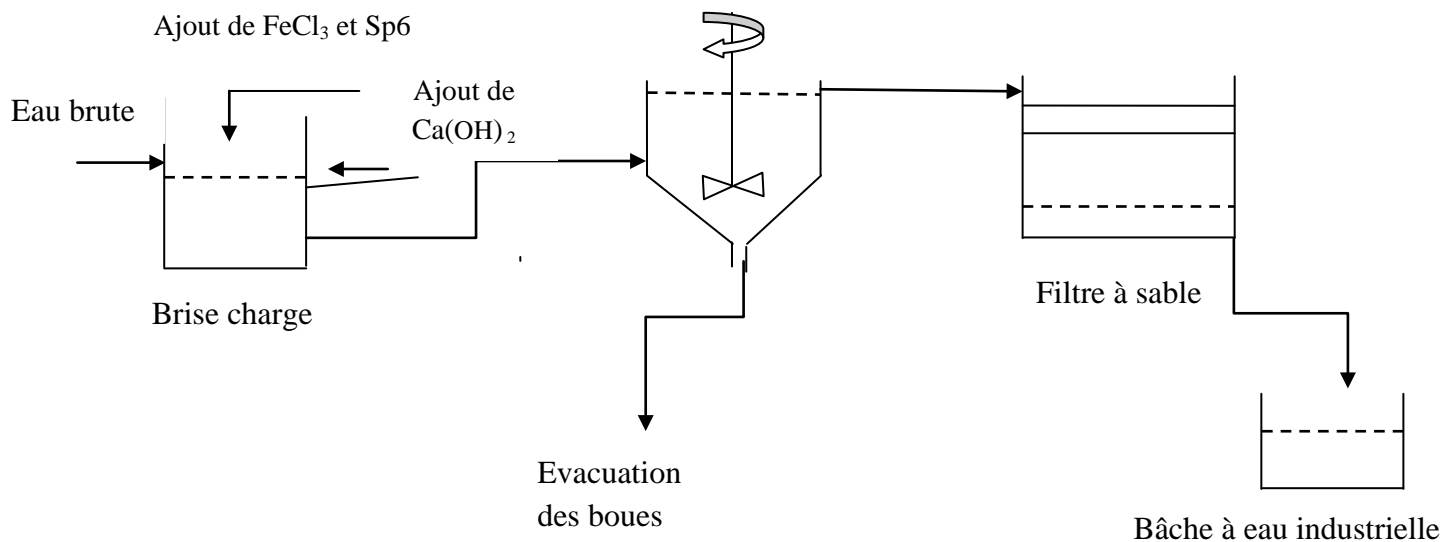
Après la filtration au sable, l'eau filtrée se dirige vers la salle de traitement des eaux. Cette salle contient des baches à eau souterrain ou l'eau industrielle est stockée puis elle sort des bassins à sable.

Il y a différentes pompes chacune a un rôle bien précis, dont on cite les pompes de lavage qui sert à lavée les filtre.



**Fig. I.11:** Salle de traitement des eaux. **Fig. I.12:** Intérieure de la salle de traitement

Dans le schéma ci-dessous on résume les procédés de traitement:



**Schéma 1:** Principe de la production de l'eau industrielle au niveau de l'usine à eau.

### ➤ Utilisation de l'eau industrielle

L'eau industrielle est utilisée essentiellement pour le refroidissement de certains mécanismes où la température est moins importante, à titre d'exemple on cite :

- ❖ Le refroidissement des machines à coulée continue et des billettes ;
- ❖ Le refroidissement, l'épuration des gaz ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ) et les poussières (calamines et graphites) des convertisseurs ;
- ❖ Le refroidissement des échangeurs des paliers presse-étoupes des pompes, des moteurs et divers [11].

### I.2.3. Production et utilisation de l'eau déminéralisée

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 I.13) est un système de filtrage très fin qui ne laisse passer que les molécules d'eau. Ce système ingénieux va nous permettre de gagner beaucoup de temps et déminéralisé beaucoup plus l'eau qui va être de meilleure qualité. Mais il faut un prétraitement avant la déminéralisation par le système *ultrafiltration* (figure I.14) pour éliminations : des microorganismes, turbidité.





**Fig.I.13:** Installation d'osmose inverse.

**Fig.I.14:** Installation ultrafiltration.

➤ **Utilisation de l'eau déminéralisée**

L'eau déminéralisée est destinée spécialement pour l'alimentation de la chaudière pour le refroidissement si la température est assez élevée pour éviter le phénomène d'entartrage et de corrosion, à titre d'exemple : Les lances, les puits de lance, les goulottes d'addition et les lingotières.

Elle est aussi utilisée pour le refroidissement des systèmes de captation des gaz et des poussières des convertisseurs (jupe, hotte mobile, hotte fixe) [9].

**I.2.4. Distribution et la protection de l'air service**

L'air comprimé est utilisé dans l'usine comme source d'énergie, cette dernière utilisation demande un air détendu, déshuilé et avec un débit global faible.

**Compresseur de la zone Ouest' Compresseur N° : 1.2.3'** (figure I.15) :

Capacité installée :  $1 \times 13700 \text{Nm}^3/\text{h} + 11700 \text{Nm}^3/\text{h}$

Capacité réel :  $1 \times 11000 \text{Nm}^3/\text{h} + 10000 \text{Nm}^3/\text{h}$

Théorique : 02 en service et 01 à l'arrêt disponible.

Pratique : 03 à l'arrêt.



**Figure I.15:** Compresseur zone Ouest.

Le complexe sidérurgique d'EL HADJAR compte quelque traveaux et rénovation, donc dans la **zone Est** : Ils ont entrain d'installée quelque nouvelle machine comme le compresseur **Atlas copo**(figure I.16) à troisétages à refroidissement par eau.

Débit d'air libre : 10700 à 17000 m<sup>3</sup>/h.

Moteur instalée : 1000 à 1850 Kw.

Masse : 18000 Kg .

Pression d'aspiration : 1 bar.

Température de l'air à l'aspiration : 35 °C.

Humidité relative : 60 %.

Température d'eau de refroidissement : 26,7 °C.



**Figure I.16:** Compresseur copo atlas à troisétages.

### **I.2.5. Distribution et la protection de la vapeur saturée**

La chaudière est un dispositif qui permet de chauffer l'eau afin de produire de la vapeur d'eau sous pression. Cette dernière va être utilisée dans différents domaines dans le complexe.

Dans la **zone Est**, on trouve deux chaudières :

Chaudière n°2 de marque **bobcokewanson** en cours de désinstallation. Avec une capacité de 20T/H.

Chaudière n°1 : représentée dans la figure I.17. Elle est aussi à l'arrêt pour cause de réhabilitation.

Température d'alimentation : 105°C

Température maximale du fluide : 201°C

Débit : 15T/H

Pression maximale : 15 Bars



**Figure I.17:** Chaudière N°1 de la zone Est.

### **I.2.6. Distribution de l'eau potable**

En estimant les besoins sanitaires à **100** litres par jour en moyenne et le personnel de l'usine à **2000**, la consommation journalière se monte à **200m<sup>3</sup>** soit une consommation horaire moyenne de **8 m<sup>3</sup>/h**.

Dans le service de division fluide il y'a une station de transformation de l'eau brute en eau potable.

Pour terminer le processus de liquidation on doit utiliser certains produits chimiques nécessaires, comme :

- L'adjuvant.
- La javelle.
- La chaux.
- Sulfate d'aluminium.

A l'intérieur de la station (figure I.18) il ya des machines spéciales et des équipements pour traiter l'eau et tout cela dans le but d'obtenir une eau saine.



**FigureI.18:** Station de l'eau potable.

## CHAPITRE II : SEPARATION MEMBRANAIRE

### II.1. GENERALITES SUR LES MEMBRANES

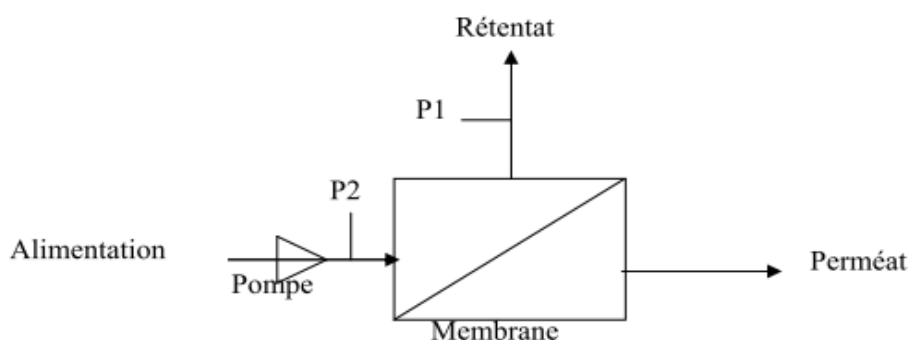
#### II.1.1. Définition de la membrane

La membrane est définie comme une couche mince semi-perméable qui joue le rôle d'une barrière sélective qui sépare les substances dissoutes ou non, sous l'action d'une force chimique (concentration) ou physique (pression). En général, les constituants qui sont plus petits que les pores de la membrane sont capables de passer à travers la membrane sous l'effet d'une pression appliquée tandis que les substances et les molécules de taille plus importante sont retenues par la membrane[12].

La technologie de la filtration sur membrane peut être appliquée pour la séparation fluide / fluide ou particules / fluide en vue de récupérer les espèces valorisables (eau, lactose, sels minéraux, etc.).

Le procédé de séparation membranaire est illustré schématiquement (figure II.1). Le résultat d'une opération membranaire est la séparation du fluide à traiter en deux parties de concentrations différentes :

- le Rétentat qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane,
- le Perméat qui contient les molécules qui traversent la membrane.



**Figure II.1:** Procédé de séparation membranaire tangentielle

#### II.1.2. Vocabulaire membranaire

**Flux transmembranaire :** Débit de perméat passant à travers la membrane, par unité de surface de la membrane[18].



**Membrane :** Une membrane à perméabilité sélective est une barrière matérielle qui permet le passage ou l'arrêt sélectif, sous l'action d'une force agissante, de substance entre les deux volumes qu'elle sépare[17].

**Membrane anisotrope :** Membrane composée d'une fine couche externe (peau) qui assure la sélectivité et d'un support interne plus épais qui assure la résistance mécanique[14].

**Membrane composite :** Elle est composée de plusieurs couches de matériaux différents[13].

**Membrane dense :** Membrane dont l'espace libre entre les enchevêtrements des matériaux qui composent la membrane est voisin de  $1 \text{ \AA}$  ( $10^{-10} \text{ m}$ ) soit de l'ordre de la taille des molécules d'eau[15].

**Membrane poreuse :** Membrane dont la taille des pores est supérieure au nanomètre[14].

**Sélectivité :** Définie par le taux de rétention (TR) de l'espèce que la membrane est censée retenir[13].

**Soluté :** Composés dissous dans un solvant[13].

**Perméabilité :** Pour l'eau pure, dans des conditions standard de température et de pression, la perméabilité est définie par le rapport entre débit d'eau traversant la membrane par unité de sa surface, divisé par la pression transmembranaire[14].

**Perméat (filtrat) :** Fluide qui s'écoule à travers de la membrane[12].

**Pression osmotique :** Seuil de pression transmembranaire, en deçà duquel il n'y a pas de transfert à travers la membrane du milieu le plus concentré au milieu le moins concentré.

**Résistance hydraulique :** Inverse de la perméabilité[16].

**Rétentat (concentrât) :** Fluide qui est retenu par la membrane[16].

**Solvant :** Fluide capable de dissoudre des composés et permettre leur transport. L'eau est un solvant.

**Pression transmembranaire (PTM) :** Différence de pression appliquée entre les deux volumes séparés par la membrane [16].

Aussi, c'est la force agissante de l'opération définie par la moyenne des pressions alimentation,  $P_A$ , et rétentat,  $P_R$ , à laquelle on soustrait la pression du compartiment perméat,  $P_P$ [12].

**Flux de perméation (J) :** Productivité du procédé défini par le débit de perméation,  $Q_P$ , divisé par la surface membranaire. Il représente aussi la vitesse du fluide perpendiculaire à la surface de la membrane[14].

**Taux de rejet (ou taux de rétention) (R) :** Sélectivité du procédé : Un taux de rejet de 1 signifie que le soluté est parfaitement retenu par la membrane (la concentration dans le perméat  $C_p=0$ ) alors qu'un taux de rejet de 0 correspond à un soluté non retenu, concentration identique dans le perméat  $C_p$  et le retentat  $C_R$  ( $C_p = C_R$ )[12].

**Perméabilité de la membrane au solvant ( $L_p$ ) :** Paramètre intrinsèque de la membrane décrivant sa résistance hydraulique,  $R_m$ , vis-à-vis du solvant : (en  $m.s^{-1}.Pa^{-1}$ )[6].12

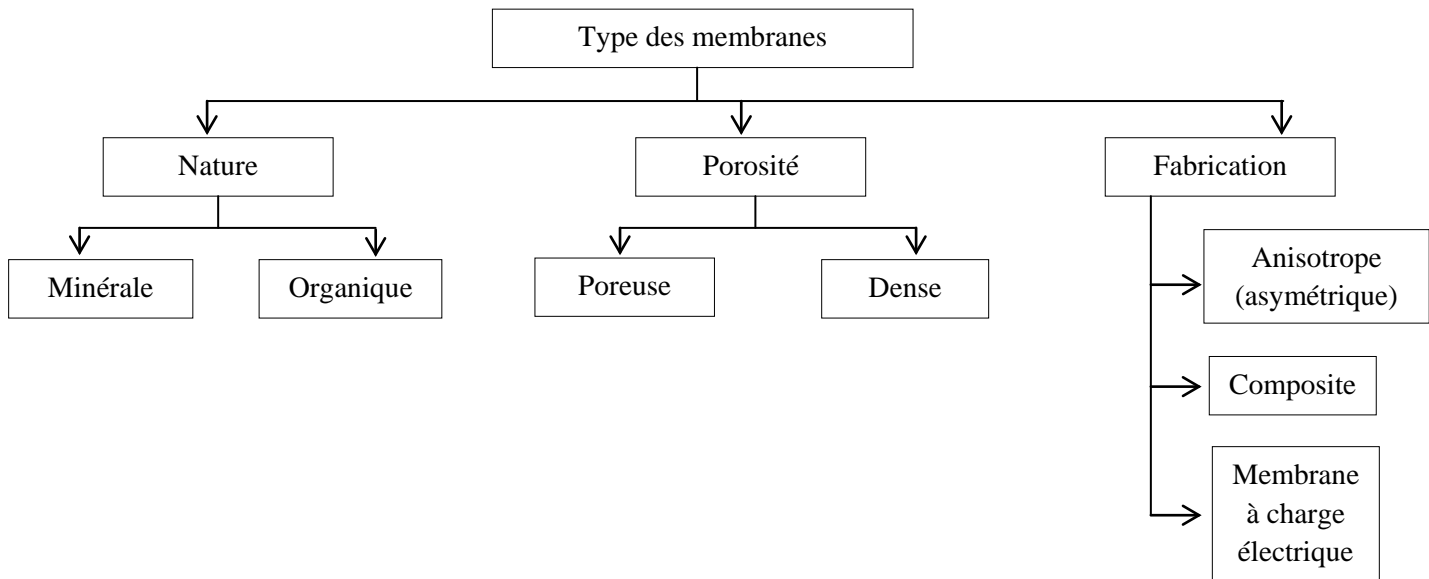
**Taux de conversion :** Fraction de liquide qui traverse la membrane[14].

**Résistance hydraulique d'une membrane ( $R_m$ ) :** Résistance à l'écoulement du fluide à filtrer à travers cette membrane. Elle est reliée à sa perméabilité[17].

**Rétention intrinsèque :** La rétention intrinsèque qui est calculée avec la concentration à la paroi de la membrane ( $C_m$ )[17].

### II.1.3. Classification des membranes

Il existe différents types de membranes [18]:

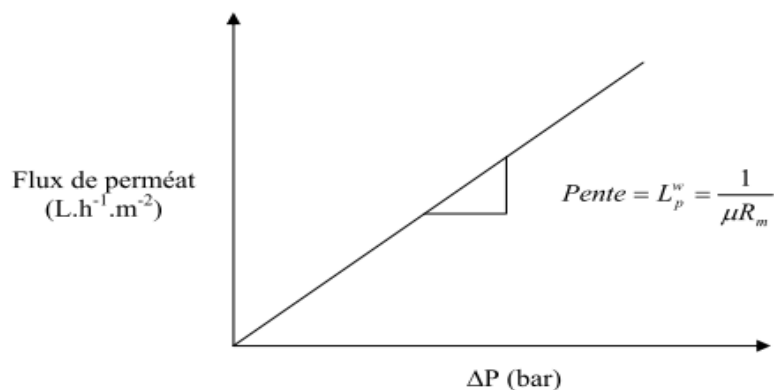


### II.1.4. Caractéristiques des membranes

Les membranes utilisées dans les procédés de séparation membranaire sont caractérisées par le diamètre des particules ou la masse molaire d'une molécule qui est retenue par la membrane. Les composés ayant une masse molaire supérieure au seuil de coupure de la membrane sont retenus à plus de 90% par la membrane. A l'inverse les composés de masse molaire inférieure au seuil de coupure de la membrane sont retenus à moins de 90%.

Le SC (seuil de coupure) est relié principalement à la taille des pores de la membrane, mais il est aussi beaucoup influencé par la forme de la molécule à filtrer, par sa charge, par son degré d'hydratation, par le pH et la force ionique de la solution à filtrer, par la pression appliquée et le flux de perméation[15].

La perméabilité d'une membrane au solvant (généralement l'eau), est déterminée comme la pente de la droite du flux de perméation  $J_w$  en fonction de la pression transmembranaire  $\Delta P$  (PTM). Figure (II.2)



**Figure II.2 :** Flux de perméat de l'eau en fonction de la pression transmembranaire



## **II.2. PROCÉDES MEMBRANAIRES A GRADIENT DE PRESSION**

Les techniques membranaires opérant en milieu liquide et faisant intervenir la pression comme force motrice sont les suivantes :

### **II.2.1. Microfiltration (MF)**

Elle peut être 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  $\mu\text{m}$ . Les pressions appliquées sont de quelques dixièmes de bar pour éviter un colmatage important. Les membranes de microfiltration permettent de retenir entre autres : les émulsions d'huile, les bactéries, les levures, les plus gros colloïdes, les gros pigments et les gros virus, etc. La microfiltration est le procédé de séparation membranaire le plus utilisé actuellement à l'échelle industrielle (en étape finale ou en prétraitement). Ses principales applications sont [19]:

- La clarification des eaux.
- La séparation d'émulsions eau / huile.
- La débactérisation de solutions.
- La production d'eau potable (la microfiltration intervient ici comme une étape de prétraitement).
- Les bioréacteurs à membranes (BAM).

### **II.2.2. Ultrafiltration (UF)**

L'ultrafiltration permet la séparation de macromolécules et d'espèces colloïdales. Le solvant ainsi que les solutés de faible masse molaire traversent la membrane selon un mécanisme convectif sous l'effet de la pression, tandis que les espèces de taille supérieures (colloïdes, protéines, polymères) sont retenues.

Les pressions (jusqu'à 5 bar) sont supérieures à celles rencontrées en microfiltration et le seuil de coupure se situe entre  $10^3$  et  $10^6$  Dalton ( $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ )[20].

### **II.2.3. Nanofiltration (NF)**

La nanofiltration est un procédé de séparation membranaire plus récent (1990) qui 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). Comparée à l'osmose inverse, les membranes de nanofiltration possèdent une structure moins dense qui

permet d'obtenir des flux de perméation supérieurs pour des pressions inférieures. Ce procédé sera moins coûteux car il impliquera une consommation d'énergie moindre.

Les *membranes d'ultrafiltration* (diamètre de pore de 2 à 100 nanomètres) peuvent retenir des colloïdes plus petits, les pigments et les virus non retenus en MF, mais retiennent surtout les protéines et les antibiotiques. Les principales applications industrielles de l'ultrafiltration sont les suivantes [20]:

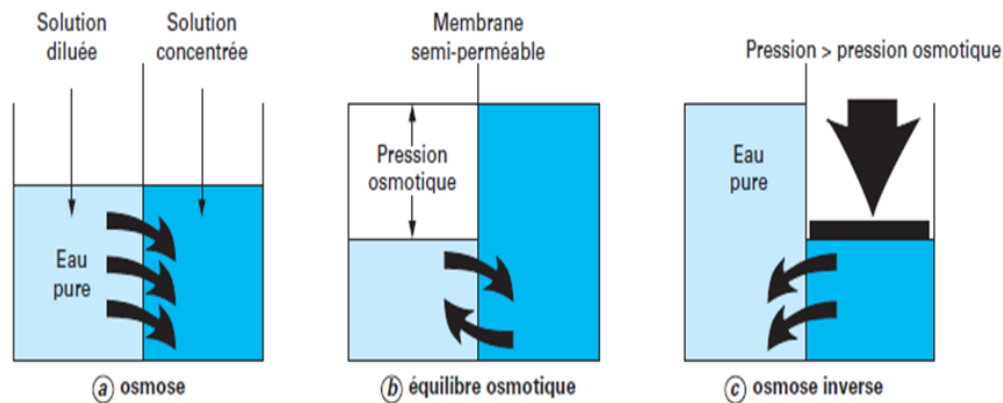
- Le traitement de bains de peinture par électrophorèse.
- Le traitement de bains de dégraissage (élimination des matières en suspensions (MES) et d'huile émulsifiée).
- La récupération de cations métalliques par ultrafiltration assistée par complexation.
- La standardisation protéique du lait.
- La concentration des protéines du lactosérum.
- Les bioréacteurs à membranes.
- La rétention des ions par ultrafiltration assistée par micellisation.

#### **II.2.4. Osmose inverse (OI)**

La technique d'osmose inverse (OI) ne s'apparente en rien aux techniques de filtration décrites ci-dessus. L'espace libre entre les enchevêtrements des matériaux qui composent ces membranes est voisin de l'angström (1/10 du nanomètre ou 1/10000 du micromètre), soit de l'ordre de la taille d'une molécule d'eau. A cette échelle, on ne parle plus de membrane poreuse, mais plutôt de membrane dense. Les phénomènes de transfert de matière à travers la membrane sont bien différents de ceux qui ont lieu dans les cas de filtration. Seul le solvant, l'eau le plus souvent, est diffusé à travers la membrane et la quasi-totalité des sels et autres constituants du système sont retenus[20], [21].

Rappelons que le principe de l'osmose est basé sur l'équilibre de concentration d'espèces entre deux séparés par une membrane semi-perméable. Sans la présence de membrane, les solutés se transportent par diffusion (et éventuellement convection naturelle), de façon à obtenir un seul milieu homogène avec une concentration uniforme. Avec une membrane, les solutés ne peuvent changer de milieu et c'est donc le solvant qui traverse la solution diluée vers la solution concentrée. La différence de concentration est ainsi réduite, mais une différence de pression de part et d'autre de la membrane est aussi créée, ceci jusqu'à l'atteinte d'un équilibre. La figure II.3 illustre ce phénomène. Lorsqu'il n'y a plus de mouvement de flux à travers la membrane et qu'il y a une différence de concentration entre les deux côtés de

la membrane, la pression correspondante est la pression osmotique. Il apparaît donc que cette pression osmotique dépend bien sûr du milieu solvant/soluté (donc aussi de la membrane car c'est elle qui définit quelle substance est soluté) et de la différence de concentration.



**Figure II.3** : Schéma du principe de l'osmose inverse.

Cette expérience démontre qu'un gradient de concentration peut être composé par gradient de pression. L'osmose inverse consiste ainsi à appliquer une différence de pression plus élevée que la pression osmotique de façon à provoquer un flux de solvant du milieu le plus concentré vers le milieu le moins concentré, tout en maintenant un gradient de concentration déterminé. Celui-ci sera d'autant plus importants que la différence de pression est élevée.

Les membranes sont des membranes denses et, pour obtenir des flux de transfert élevés et vaincre la pression osmotique des solutions traitées, des pressions relativement élevées doivent être utilisées. Les applications principales de l'osmose inverse sont l'élimination des sels organiques ou inorganiques ou des molécules dans l'eau ou bien la concentration de jus sucrés, par exemple[13].

## **II.3. MEMBRANES UTILISEES DANS L'UNITE INDUSTRIEL**

### **II.3.1. Membrane de l'ultrafiltration UF**

- **Ultrafiltration ProMinent[22]**

Nous utilisons un fabricant de membranes pour pouvoir proposer des modules d'ultrafiltration compacts sur membrane polysulfone et fonctionnant en mode frontal Externe/Interne, en pression et avec rétro-lavage aéré.

Les modules de filtration et les membranes qui les composent ont été spécifiquement développés pour la production d'eau potable. Les ingénieurs ont plus de 25 ans d'expérience en production d'eau potable par filtration sur membranes creuses et ont contribué au développement des premières usines de production d'eau potable équipées de cette technologie.

- **Fibre creuse polysulfone double peau**

La fibre creuse présente deux caractéristiques principales :

- a. Polysulfone:* Ce matériau utilisé pour la fabrication des fibres creuses est résistant aux produits chimiques (chlore, soude, acides et autres agents de lavage usuels), il est non biodégradable et présente une excellente résistance mécanique et thermique.

Les avantages en pratique sont :

- Excellente durée de vie des membranes,
- Lavages faciles et courts avec des agents de nettoyage simples (disponibles dans le commerce) et bon marché. Les effluents sont simples à traiter.

- b. Double peau:* Les fibres creuses présentent sur leurs deux surfaces (interne et externe) une fine couche dotée des pores les plus fins (appelées peaux). Ces couches assurent la haute capacité de filtration (0,01  $\mu\text{m}$ ) alors que la structure interne composée de pores de taille supérieure assure la perméabilité élevée de la fibre.

Les avantages en pratique sont :

- Deux filtrations successives au travers des deux peaux.
- Excellente qualité de perméat : rétention des matières en suspensions (MES), des bio-contaminants (bactéries et virus) et des grosses molécules organiques.
- Pas de risque de colmatage en profondeur de la fibre (ni en filtration, ni au rétro-lavage).

- **Filtration externe / interne**

Lors de la filtration en mode externe /interne, l'eau brute traverse la paroi des fibres creuses de l'extérieur vers l'intérieur.

Utiliser ce mode de filtration permet de présenter une surface de filtration environ deux fois supérieure à la surface de filtration interne d'une membrane de même dimension.

De plus les particules retenues sur la surface externe de la fibre seront facilement éliminées lors des rétro-lavages (passage d'eau traitée en sens inverse du sens de filtration qui permet de laver les fibres).

En filtration interne/externe, les particules agglomérées à l'intérieur de la fibre sont beaucoup plus difficiles à éliminer ; les rétro-lavages sont plus consommateurs d'eau et /ou plus longs. Dans le cas de présence de pesticides dans l'eau à traiter, l'ajout de charbon actif en poudre comme prétraitement est possible si nécessaire pour adsorber ces pesticides. Les grains de charbon actif ayant adsorbé les polluants sont retenus à l'extérieur de la fibre creuse et seront facilement éliminés lors du rétro-lavage, comme les matières en suspensions lors d'une pointe de turbidité.

Les avantages en pratique sont :

- Modules compacts et économique: 540 m<sup>2</sup> de surface de filtration pour un module de 610mm de diamètre pour 1700mm de hauteur (UFP240).
- Systèmes performants et sûrs sans risque de bouchage des fibres.
- Possibilité d'injecter du charbon actif en poudre en pré-traitement sans risque de bouchage des fibres et sans augmenter le coût de l'installation.

- **Résumé des caractéristiques du système d'ultrafiltration utilisé**

L'utilisation d'un système continu d'ultrafiltration par nos membranes pour le traitement de l'eau offre les avantages suivants :

- La qualité de l'eau filtrée est constante quelles que soient les variations de la qualité de l'eau brute.
- Des pointes de turbidité dépassant 500 NTU sont réduites à des valeurs inférieures à 0,2 NTU (typiquement 0,1 NTU).
- La qualité de l'eau filtrée est indépendante des réglages de l'installation.
- La rétention de toutes les bactéries et virus est effectuée en une seule étape.
- La filtration est une filtration « mécanique » qui ne nécessite pas d'adjonction de produits chimiques.
- La filtration dite « frontale » simplifie le système ainsi que son fonctionnement.
- Les rejets sont minimisés car il n'y a pas d'apport de produits chimiques.
- Le rétro-lavage ne génère que des particules naturelles retenues lors de la filtration ainsi que du chlore à faible concentration injecté lors de cette opération.

- La main d'œuvre est minimisée du fait de la stabilité de fonctionnement du procédé et de l'automatisation du système.

- **Rétro-lavages**

Une partie de la production d'eau ultrafiltrée est utilisée pour assurer les rétro-lavages. La cuve servant de réserve d'eau ultrafiltrée pour rétro-lavages doit permettre de garantir la non contamination de l'eau ultrafiltrée par des particules avant passage dans les modules à contre-courant.

Les cycles de rétro-lavage se produisent à intervalles réguliers (généralement dimensionné à 60 minutes) et durent 70 secondes par ligne de modules installés (soit 70 secondes par rack composé d'une ligne de 2 modules). L'eau traitée est reprise dans la « bache eau ultrafiltrée » par la pompe de rétro-lavage qui amène l'eau à contresens vers le rack (vanne AV5) et vers la ligne de membranes à une pression transmembranaire de l'ordre de 2,0 bars via les vannes d'entrée rétrolavage AV10 et AV20.

Une injection de chlore (3 à 10 ppm) dans l'eau servant au rétro-lavage sera effectuée lors d'un rétro-lavage. L'injection sera réalisée grâce au poste d'injection d'eau de javel. Les postes d'injection de produits chimiques seront principalement composés d'un bac de stockage et de deux pompes doseuses ProMinent (une en service et une en secours).

- **Nettoyages de Maintenance (NM)**

Les opérations de nettoyage chimique en place (NEP), des nettoyages de maintenance (NM) sont effectués de façon automatique suivant une temporisation configurable sur l'automate. Ces nettoyages sont réalisés en rétro-lavage Afin de retarder, les réactifs (eau de javel, soude ou acide) étant injectés au moyen des pompes d'injection de produits chimiques à une concentration moindre que celle utilisée lors des NEP (concentrations données dans le tableau de dimensionnement). La durée de ce type de séquence est de 40 minutes environ. Le nettoyage chimique dit de maintenance (NM) est effectué en réalisant :

- Un lavage basique (2 g/L de soude) / oxydant (50 ppm de chlore) plus un rinçage.
- Un lavage acide (1,5 g/L d'acide sulfurique) plus un rinçage.

Le fonctionnement général de l'installation (filtration, rétro-lavages, nettoyages de maintenance) est automatique et ne demande aucune intervention humaine.

- **Spécifications techniques de l'installation**

On utilise des modules d'ultrafiltration à 0,01  $\mu\text{m}$  à fibres creuses fonctionnant en filtration externe/interne (les matières en suspensions et autres microorganismes retenus sur la surface extérieure de la membrane sont facilement éliminées lors des phases de rétro-lavage à l'eau et à l'air).

- **Membranes**

Une membrane fibre creuse est un petit tube en matière plastique de moins d'un millimètre de diamètre et de quelques dizaines de centimètres de long, dont la paroi est poreuse. Les pores des membranes sont d'une taille de 0,01  $\mu\text{m}$ , soit 10000 fois plus fins qu'un cheveu humain. Les matières en suspension mais surtout les micro-organismes et les virus sont parfaitement retenus sur la surface externe des fibres.

Les caractéristiques de la membrane sont :

Matériau : Polysulfone.

Porosité nominale: 0,01 micron.

Configuration : Fibre creuse.

Filtration de l'extérieur vers l'intérieur.

- **Modules**

Les cartouches d'ultrafiltration sont composés de plusieurs milliers de ces petits tubes appelés fibres creuses et présentent ainsi une surface de filtration importante permettant de traiter de grands débits.

Type : UFP 240

Longueur : 1 700 mm

Diamètre : 610 mm

Surface filtrante : 40  $\text{m}^2$  par module, composé de 52 faisceaux de surface unitaire 10,4 $\text{m}^2$

Nombre de modules par rack membranaire : 2 (1 ligne 2 modules)

Nombre de total modules pour les 2 racks 4

### ➤ **Systeme**

Nombre de racks membranaires: 2

Type de fonctionnement : Frontal

Pression transmembranaire : 0 - 1,5 bar

#### ***Procédé basse pression***

L'ultrafiltration est un procédé de filtration où la force motrice est la pression du liquide à traiter (0 à 1,5bars). L'eau pressurisée entre dans le module et l'eau produite (appelée filtrat ou perméat) traverse la barrière que constitue la membrane. Les substances retenues sont capturées sur la surface de la membrane et sont éliminées du module de manière périodique dans un effluent de rétrolavage.

### **II.3.2. Membrane de l'osmose inverse OI [22]**

- **Description théorique de l'osmose inverse**

L'installation préconisée fait appel à la technologie de dessalement par osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation membranaire dont le vecteur de transfert est un gradient de pression.

- **Données techniques d'une unité d'osmose inverse ProMinent Type PRO 35.28 TW – CP5LD ou équivalent**

Débit d'eau pure à 25°C : Approx. 35 (m<sup>3</sup>/h).

Pression : Approx.10 (bar)

Rendement : max 75 (%)

Consommation en eau brut : Approx 50 (m<sup>3</sup>/h)

Pression en eau brut nécessaire (min/max.) : 3 / 6 (bar)

Seuil de rejet du sel : >90-95 (%)

Alimentation : 400/50 (V/Hz)

Puissance (principale pompe haute pression) : 22 (kW)

Raccords eau non traité, Perméat, concentré : 100, 80, 50 (DN)

Dimensions OI : HxLxl 1800x7500x1100 (mm)

Dimensions de la cuve de nettoyage ∅: 1070 x 1260 (mm)



## CHAPITRE III : PARTIE EXPERIMENTALE

### III.1.INTRODUCTION

Pour l'analyse de contrôle de qualité ou de recherche fondamentale ou appliquée, la présence d'un laboratoire équipé en matériels de mesure et de personnel qualifié, est fondamental. Le cahier des charges de chaque laboratoire est spécifique à chaque institution de production de produits sidérurgiques, agro-alimentaires, pharmaceutiques, etc.

Les paramètres de contrôle de qualité dépendent de la nature des produits fabriqués. Généralement les paramètres analysés peuvent être : organoleptiques (goût, couleur, odeur, turbidité, etc.), physico-chimiques (pH, température, titre alcalimétrique simple TA, titre alcalimétrie complet TAC, titre hydrotimétrie ou dureté totale TH, etc.), toxiques (métaux lourds, etc.), pesticides, microbiologiques (bactéries, virus, parasites). En sidérurgie les paramètres analysés s'apparentent essentiellement aux paramètres de structure (métal, composite, etc.) composition chimique (fer, carbone, etc.), texture (Rayon X, Infrarouge, Microscopie à balayage électronique MEB, etc.).

Dans cette étude, on a pris deux types d'eaux, une eau brute et une eau industrielle. Dont l'objectif est de suivre l'analyse physico-chimique des deux types, ainsi que, de suivre le traitement d'une eau brute par ultrafiltration et par osmose inverse.

### III.2.LABORATOIRES D'ANALYSES

#### III.2.1.Laboratoire sidérurgique : Cas d'El-Hadjar

Dans le laboratoire central d'El-Hadjar, il y a plusieurs types d'analyses : les petits laboratoires spécifiques comme le laboratoire des huiles, le laboratoire de spectroscopie, le laboratoire de la matière première et le laboratoire des eaux. L'orientation et analyses du laboratoire des eaux sera détaillé dans le paragraphe suivant.

- **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, Silice en mesurant les paramètres suivants : Indice partiel, Indice totale, etc.
- **Laboratoire des eaux** : Son rôle est de contrôler la qualité des eaux sidérurgiques qui sert à la production.

### III.3. PARAMETRES PHYCICO-CHIMIQUE ANALYSES

En général, pour les eaux industrielles sidérurgiques, les paramètres mesurés sont plutôt physico-chimiques tels que [8, 10, 23]: TA, TAC, TH, la conductivité, le pH, les chlorures et les solides dissous totaux TDS essentiellement.

On a développé dans ce qui suit les paramètres analysés au laboratoire des eaux d'El-Hadjar.

#### ➤ Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet TA et TAC

Le titre alcalimétrique (TA) d'une eau permet de connaître sa concentration en carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et en bases fortes, autrement dit son alcalinité.

Ce titre mesure en degrés français (°F) où 1°F équivaut à 3,4 mg/L d'ion hydroxyde ( $\text{OH}^-$ ) ou à 6 mg/L d'ion carbonate, ou encore à 12,2 mg/L d'ion hydrogénocarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ).

Pour prendre également en compte les ions bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), on utilise le titre alcalimétrique complet (TAC).

L'alcalinité d'une eau est fortement liée à sa dureté et donc à son caractère corrosif et à sa capacité d'entartrage des canalisations.

#### ➤ Titre hydrotimétrique TH

La dureté totale d'une eau ou Titre Hydrotimétrique TH correspond à la quantité totale de l'eau en calcium et en magnésium.

Une eau dure est une eau qui laisse des dépôts incrustants de carbonate (générateurs de tartre) lorsqu'elle est chauffée. Cette caractéristique se traduit également par la difficulté du savon à mousser. On classe généralement les eaux de la manière suivante :

- $\text{TH} < 10 \text{ }^\circ\text{F}$  : Eaux très douces.
- $10 \text{ }^\circ\text{F} < \text{TH} < 20 \text{ }^\circ\text{F}$  : Eaux douces à moyennement douces.

- $20\text{ }^{\circ}\text{F} < \text{TH} < 30\text{ }^{\circ}\text{F}$  : Eaux dures.
- $30\text{ }^{\circ}\text{F} < \text{TH}$  : Eaux très dures.

➤ **Titre calcique  $T_{\text{Ca}^{2+}}$  et le titre magnésique  $T_{\text{Mg}^{2+}}$**

Le calcium ou dureté calcique exprime la concentration globale d'une eau en sels de calcium quel que soit l'anion associé. On l'appelle aussi quelquefois Titre Calcique  $T_{\text{Ca}^{2+}}$  de l'eau. On parle de même de la dureté magnésienne (ou Titre Magnésien,  $T_{\text{Mg}^{2+}}$ ) uniquement dû aux sels de magnésium.

➤ **pH**

Le potentiel d'hydrogène est le logarithme décimal de l'inverse de sa concentration en ions d'hydrogène ( $\text{H}^+$ ), il est inférieur ou supérieur à 7 suivant que l'eau est acide ou basique. Il n'a pas de la signification hygiénique mais il représente une notion importante de la détermination de l'agressivité de l'eau et la précipitation des éléments dissous [24].

➤ **Conductivité**

La conductivité d'une substance est définie comme la puissance à conduire ou transmettre la chaleur, l'électricité, ou le bruit". Leurs unités sont les Siemens par mètre [S/m] en système international SI et en micro-ohms par centimètre [mmho/cm] en unités américaines. Son symbole est k ou  $\chi$ .

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau[25].

➤ **Matières en suspension**

La notion de matière en suspension (ou MES) ou particules en suspension désigne l'ensemble des matières solides insolubles visibles à l'œil nu présentes en suspension dans un liquide (eau turbide).

Il s'agit ici de la matière qui est sous forme de particule et la matière colloïdale et qui reste en suspension dans l'eau (de taille  $10^{-2}$  à  $10^{-8}$  mm). Elle peut être de la matière minérale ou de la matière organique, c'est souvent un mélange des deux.

Ce paramètre exprimé en mg/L correspond à la pollution insoluble particulaire, mesuré par peser après filtration ou centrifugation et séchage à  $105^{\circ}\text{C}$ . Les procédés de séparation par filtration font appel, soit à des disques en fibres de verre, soit à des couches d'amiante.

La méthode par centrifugation est plus particulièrement réservée au cas où les méthodes par filtration ne sont pas applicables par suite d'un risque élevé de colmatage des filtres.

➤ **TDS**

Les SDT, ou solides dissous totaux est le total de matières solides dissoutes est 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.

➤ **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 [23].

➤ **Chlorure : Cl<sup>-</sup>**

l'ion chlorure est un atome de chlore chargé d'un électron supplémentaire ; c'est un ion négatif (anion), dit halogénure ; un atome de chlore ayant gagné un électron. Il est aussi produit lors de la dissociation du chlorure d'hydrogène dans l'eau. Des chlorures peuvent être localement impliqués dans les pluies acides et phénomènes d'acidification d'eaux superficielles ou souterraines.

### **III .4. EAUX ANALYSEES**

#### **III.4.1. Eau brute**

• **Définition**

L'eau brute désigne l'eau qui n'a subi aucun traitement et qui peut alimenter une station de production d'eau potable[26].

L'eau brute est employée en amont des stations de traitement est issue de différentes sources généralement souterraines. L'origine souterraine de l'eau brute destinée après traitement à la consommation humaine est indispensable à des raisons sanitaires et de sécurité. Sanitaires parce que les eaux souterraines sont moins sensibles à des pollutions accidentelles, et de sécurité puisqu'elles sont également inaccessibles à éventuels actes malveillants.

Les origines de l'eau brute utilisée ensuite dans l'adduction sont généralement les cavités souterraines, les affleurements de nappe phréatique, les puits, les forages et les sources. Ces

points de puisage et/ou de captage sont équipés de stations de contrôle afin de pouvoir surveiller quasiment en permanence la qualité de l'eau brute pour qu'en cas de risque son puisage ou captage puisse être immédiatement suspendu dans le but de ne pas propager une possible contamination à une station de traitement [26].

- **Prélèvement**

Pour les analyses physico-chimiques, l'emploi des flocons de plastique d'un 1,5 L. Après le prélèvement des échantillons de la vanne d'eau brute.

### **III.4.2.Eau industrielle**

- **Définition**

L'eau 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 (contrôle de la qualité par le laboratoire de la STEP)[27].

- **Prélèvement**

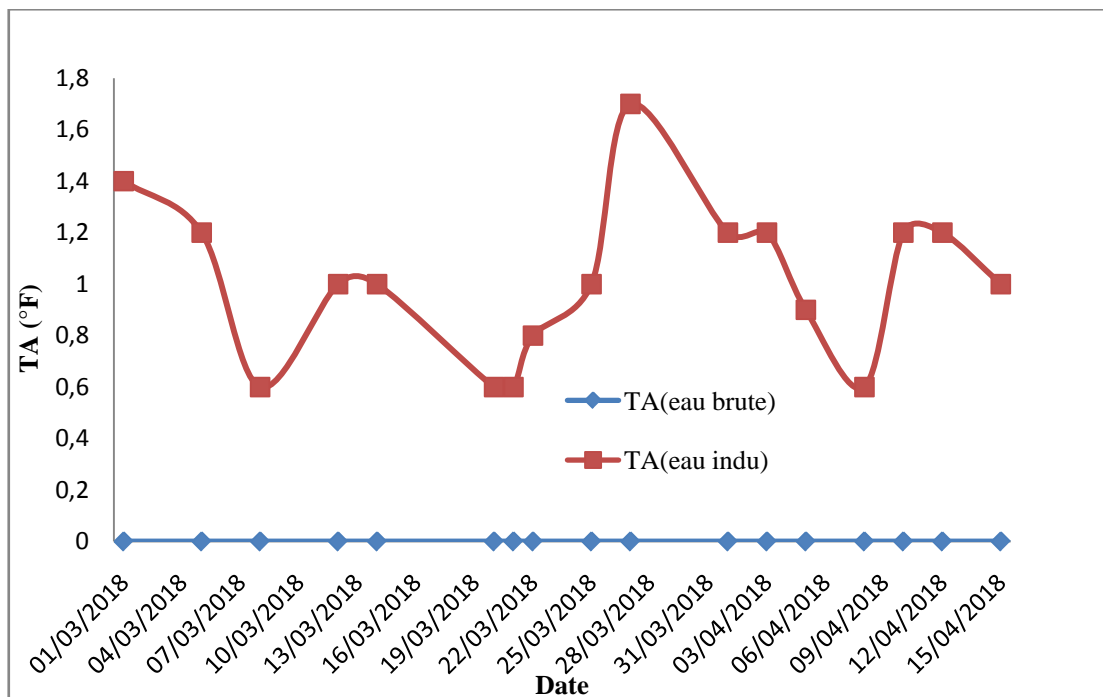
Pour les analyses physico-chimiques; l'emploi des flacons de plastique d'un 1,5L. Après le prélèvement des échantillons, les bouteilles sont fermées pour éviter l'évaporation et transportées au laboratoire dans une glacière.

### **III.5. RESULTATS DE L'EAU BRUTE ET DE L'EAU INDUSTRIELLE**

Les paramètres physico-chimiques étudiés pour l'analyse de l'eau brute sont : la température, le pH, la conductivité électrique, la matière en suspension, TA, TAC, TH, TDS et les chlorures. La mesure de ces paramètres a été effectuée mensuellement dans la période de «Mars et Avril 2018 ». Les modes opératoires de chaque paramètre sont mentionnés dans l'annexe.

#### **TA**

D'après la figure III.1, on remarque que la mesure de titre alcalimétrie simple TA pour l'eau brute est égale à zéro dans la période étudiée. Par contre, le titre alcalimétrie simple TA de l'eau industrielle varie de 0,6 jusqu'à 1,7.



**Figure III.1:** Variation du titre alcalimétrie simple TA des deux eaux (brute et industrielle) dans la période de stage.

La valeur de TA = 0 indique le pH de l'eau brute est inférieur à 8,3.

Les fluctuations des valeurs de TA (de 0,6 à 1,7°F) pour l'eau industrielle est peut-être dû au mauvais traitement de l'eau.

La formation d'une couche carbonatée assurant la protection des canalisations contre certains risques de corrosion nécessite une alcalinité minimale.

### TAC

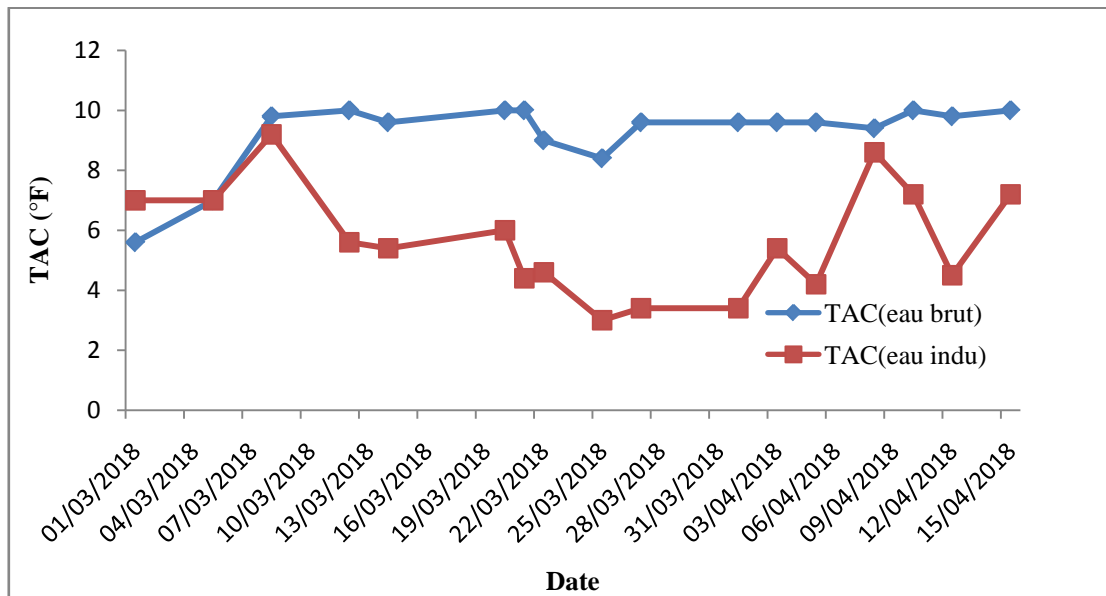
Ce paramètre permet de connaître les concentrations en bicarbonates, carbonates et éventuellement en hydroxydes (bases fortes) contenues dans l'eau.

Les résultats d'analyse pour les différentes eaux brute et industrielle montrent que les teneurs en bicarbonates prennent des valeurs maximales de 10°F pour l'eau brute et 9,2°F pour l'eau industrielle. Ces valeurs dépassent la norme 1°F.

Cela indique que le pH des deux eaux est supérieur à 8,3. Cette constatation est peut être dû à la nature des terrains lors du ruissellement des eauxfluviales concernant les eaux brutes. Mais,

les valeurs élevées dans le cas des eaux industrielles sont probablement dues à son usage dans l'industrie.

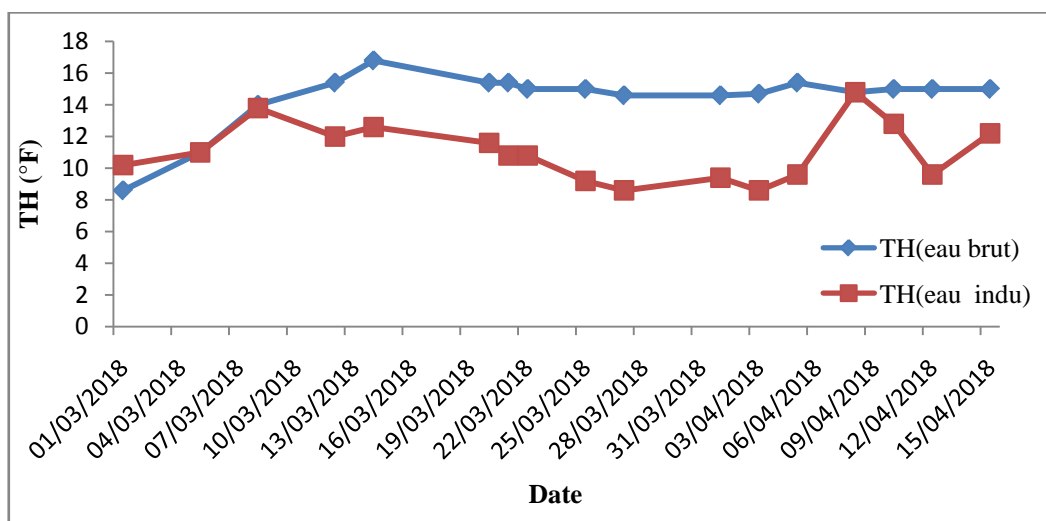
Le titre alcalimétrie complet donne l'alcalinité totale de l'eau.



**Figure III.2:** Variation du titre alcalimétrie complet TAC des deux eaux (brute et industrielle) dans la période de stage.

### TH

La figure III.3 donne l'allure de la variation de la dureté totale de l'eau brute et de l'eau industrielle en fonction de la période d'étude. La dureté de l'eau brute est supérieure à celle de l'eau industrielle (le maximum de la valeur de TH de l'eau brute est de 16,8°F, le maximum de TH de la valeur de l'eau brute est de 14,8°F).

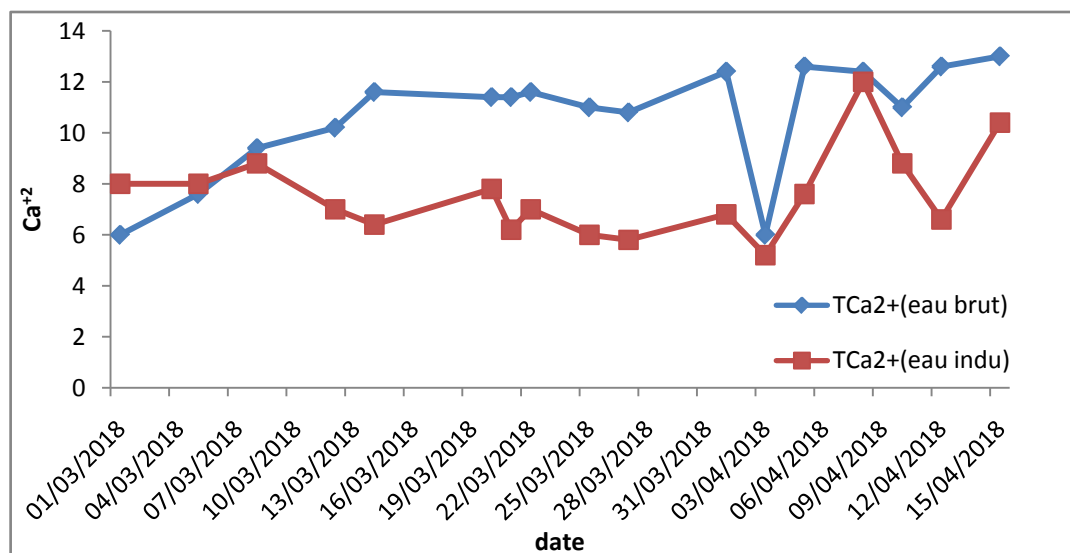


**Figure III.3:** Variation de la dureté totale TH des deux eaux (brute et industrielle) dans la période de stage.

On peut dire que l'eau industrielle est douce, où les valeurs de TH sont inférieures à 15°F. En outre, les valeurs de TH pour l'eau brute sont comprises entre 15 à 25 °F, donc on peut dire que cette eau est moyennement dure. Néanmoins quelques points qui ont une dureté totale inférieure à 15°F.

### 🌈 $T_{Ca^{2+}}$

Les résultats de l'analyse du titre calcique pour les deux eaux donnent des fluctuations pour les deux types d'eaux. Mais reste toujours dans la norme 3-8°F. La dureté calcique des eaux brute et industrielle est représentée sur la figure III.4. On constate que la teneur en calcium de l'eau brute est supérieure à celle de l'eau industrielle.

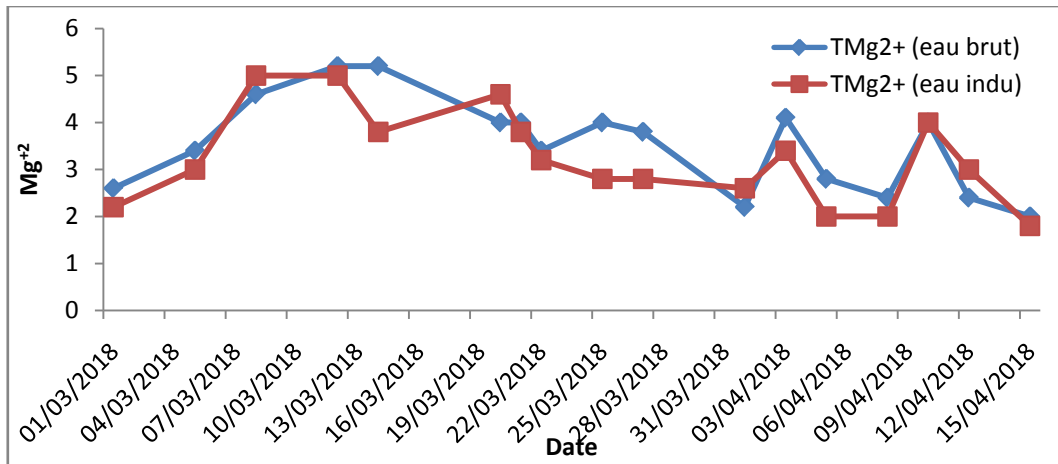


**Figure III.4:** Variation de la dureté calcique  $T_{Ca^{2+}}$  des deux eaux (brute et industrielle) dans la période de stage.

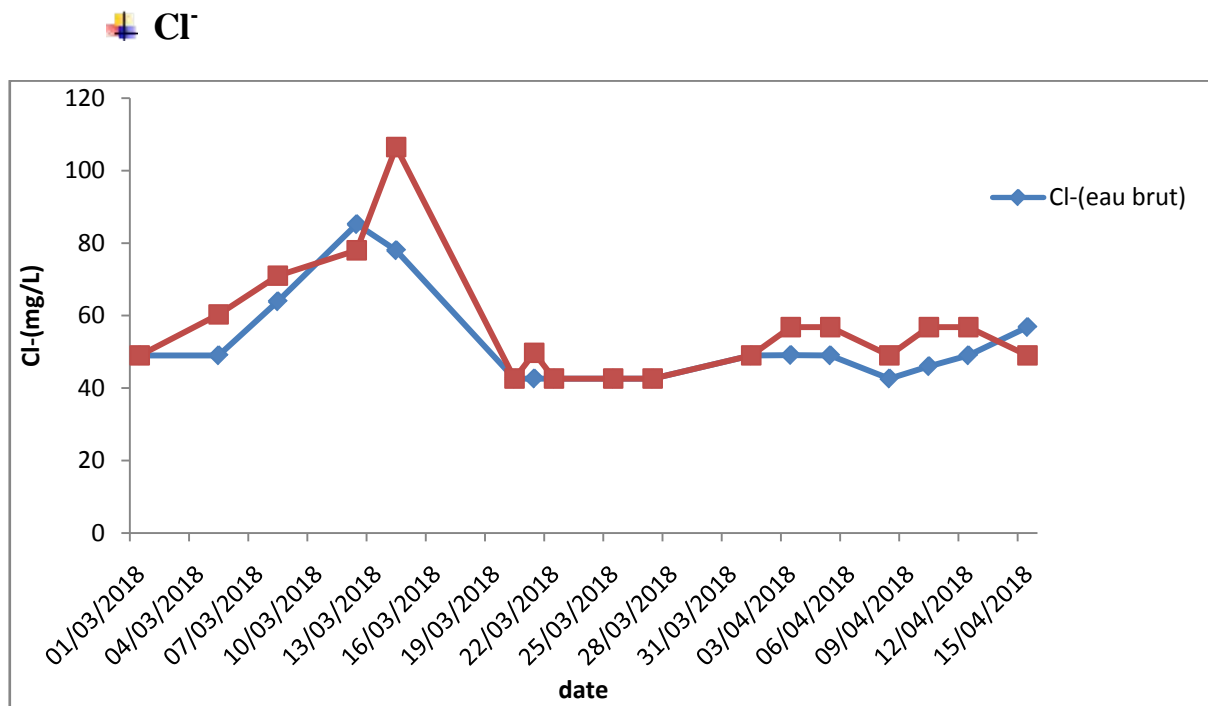
### 🌈 $T_{Mg^{2+}}$

La dureté magnésienne des eaux brute et industrielle est représentée sur la figure III.5. On observe la même allure dans les deux cas. Où la teneur en  $Mg^{2+}$  est presque la même dans la période d'étude.





**Figure II.5:** Variation de la dureté calcique  $T_{Mg^{2+}}$  des deux eaux (brute et industrielle) dans la période de stage.



**Figure III.6:** Variation des chlorures dans l'eau brute et dans l'eau industrielle dans la période de stage.

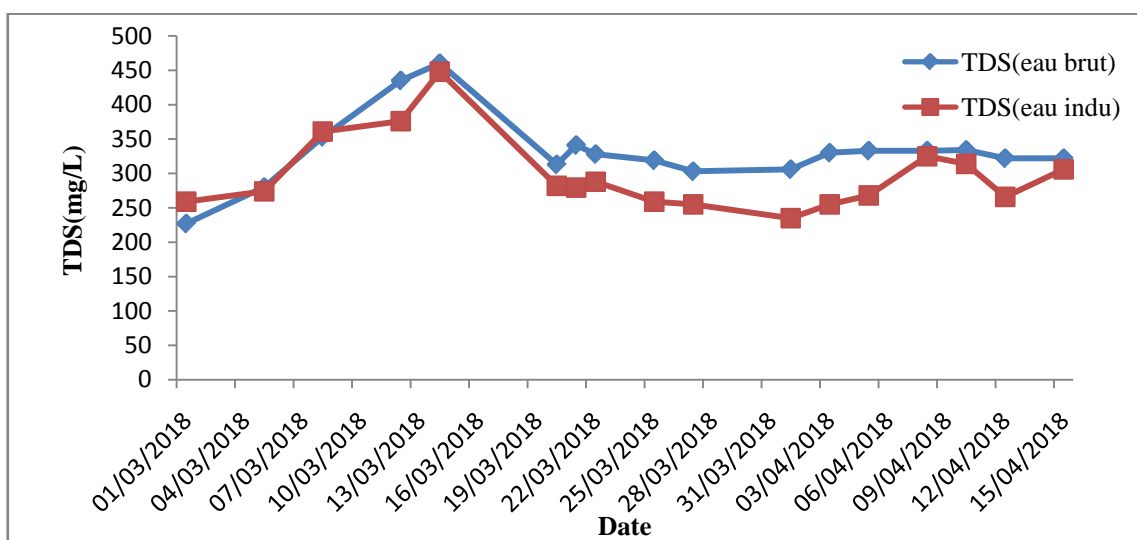
Suivant la figure III.6 qui représente la variation des chlorures dans l'eau brute et dans l'eau industrielle dans la période de stage, on observe que les deux types d'eau ont la même allure avec un petit écart.

Les valeurs en chlorures dans les deux types d'eau étudiées sont inférieures à la norme fixée à 250mg/L.

La présence de cet ion dans les eaux naturelles est due soit au lessivage des roches et des sols sédimentaires, soit à la désinfection des eaux domestiques et des procédés industriels qui emploient le chlore comme agent de blanchissement, des agents de nettoyage domestique et du sel répandu sur les routes en hiver.

### ✚ TDS

Suivant la figure III.7 qui représente la variation des taux des sels dissous TDS dans l'eau brute et dans l'eau industrielle dans la période de stage, on remarque que l'allure des deux types d'eau est typiquement la même.



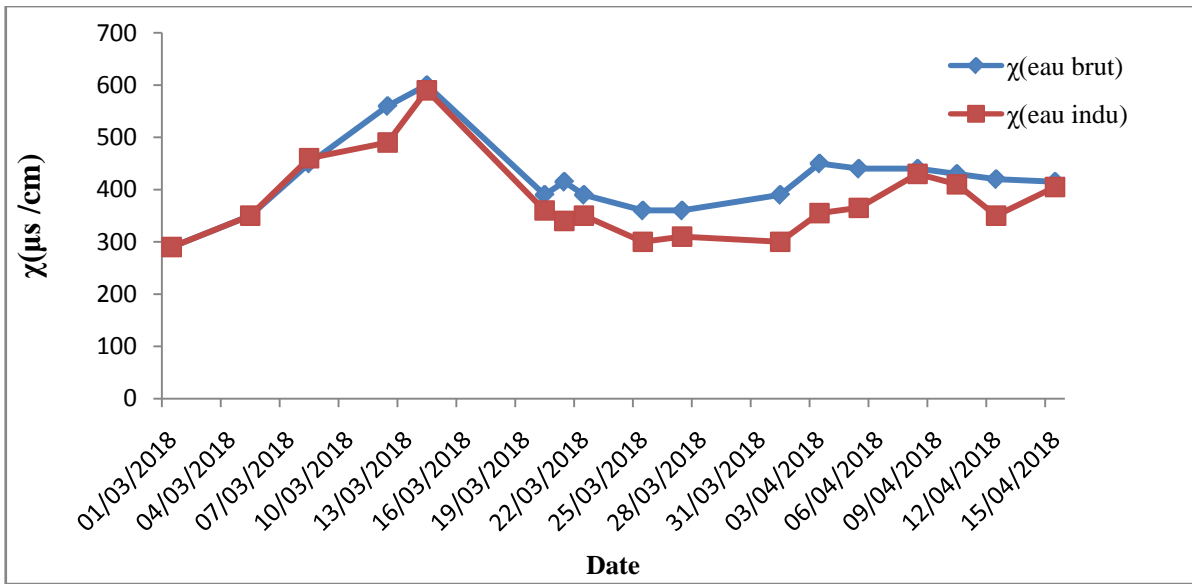
**Figure III.7:** Variation de TDS des deux eaux (brute et industrielle) dans la période de stage.

Il en ressort que les valeurs des taux de sels dissous sont inférieurs à 500mg/L. En effet, leurs minéralisations sont acceptables du moment qu'elles répondent aux normes 300-1000mg/L.

### ✚ Conductivité électrique $\chi$

On remarque d'après la figure III.8 que les deux types d'eau ont presque la même allure avec une petite variation d'écart.

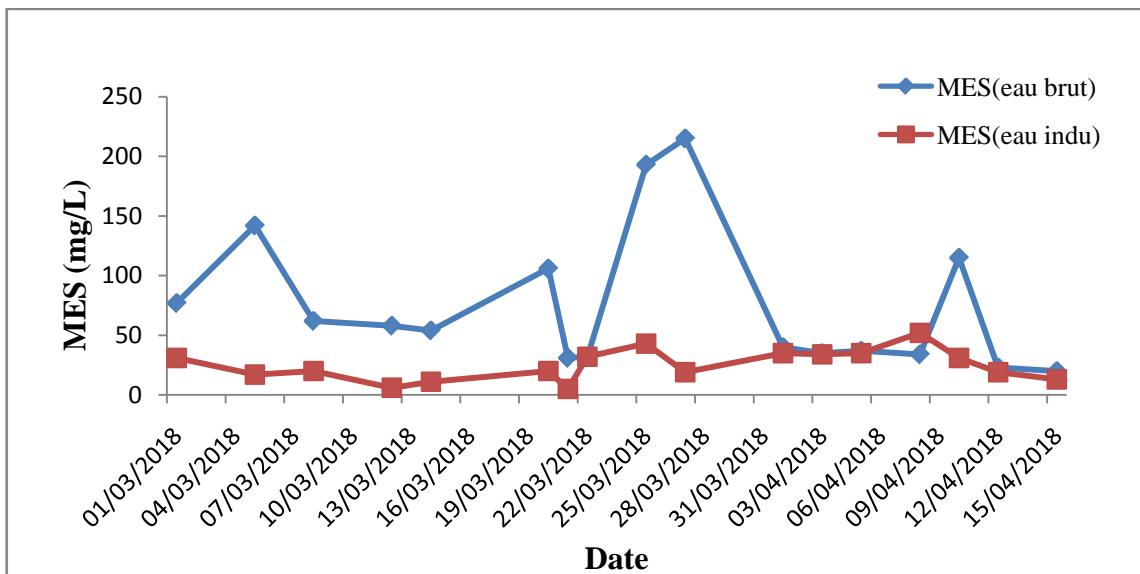
Les valeurs de la conductivité électrique de tous nos échantillons d'eaux sont comprises entre 900-1500 $\mu$ S/Cm. On peut conclure qu'elles ont des propriétés électriques qui sont conformes aux normes (<2800 $\mu$ S/Cm).



**Figure III.8:** Variation de la conductivité électrique des deux eaux (brute et industrielle) dans la période de stage.

En effet, une conductivité élevée se traduit soit par des pH anormaux, soit par une salinité élevée.

**MES**



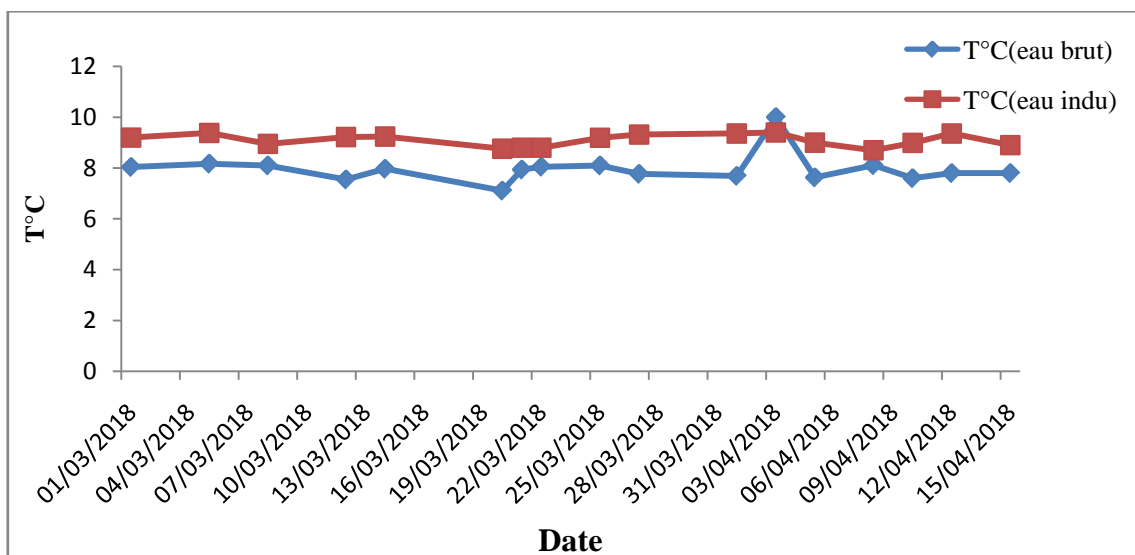
**Figure III.9:** Variation de MES des deux eaux (brute et industrielle) dans la période de stage.

D'après la figure III.9, on peut dire que la teneur des matières en suspension dans l'eau brute est variable. Cependant, leur teneur dans l'eau industrielle est toujours inférieure aux normes (<30mg/L). Les teneurs élevées des MES peuvent avoir une incidence sur le développement de la vie aquatique en créant des déséquilibres entre les différentes espèces.

### ✚ Température

La température est un paramètre très important dans l'analyse de l'eau. Globalement la température des eaux étudiées suit celle de l'air qui dépend des conditions climatiques saisonnières puisque les deux eaux sont ouvertes à l'air ambiant.

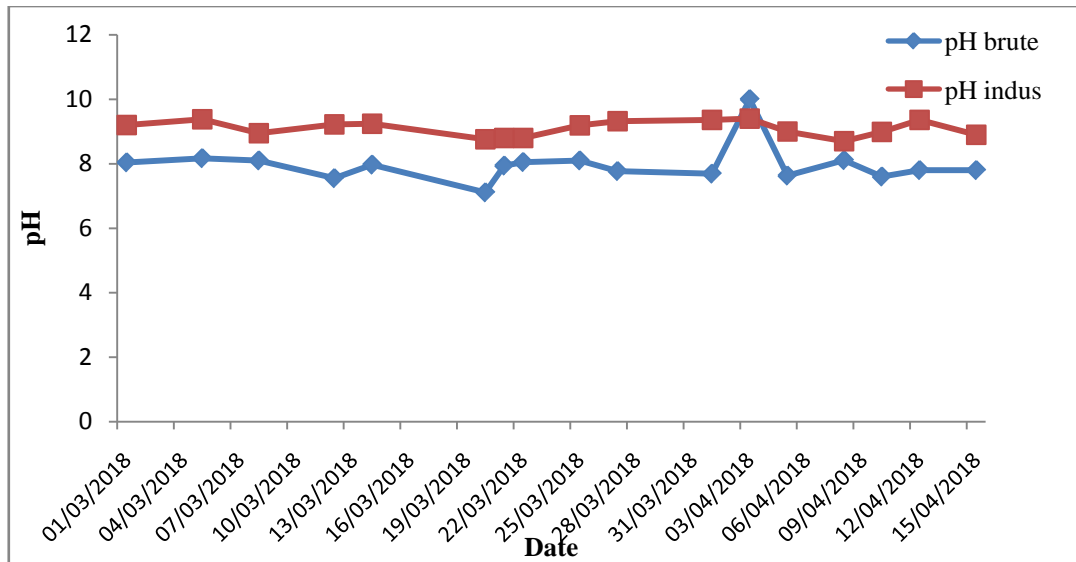
D'après la figure III.10, on observe que les températures sont entre 8 et 10°C c'est la période de transition entre les périodes froide et chaude.



**Figure III.10:** Variation de la température des deux eaux (brute et industrielle) dans la période de stage.

### ✚ pH

D'après la figure III.11 qui représente l'évaluation du pH de l'eau brute et industrielle en fonction du période d'étude, on remarque que les pH de tous nos échantillons sont des valeurs basiques. Cela est expliqué par une élévation de température qui engendre une augmentation du CO<sub>2</sub> dissous qui va provoquer une hausse du pH.



**Figure III.11:** Variation du pH des deux eaux (brute et industrielle) dans la période de stage.

Pour suivre le traitement de l'eau industrielle au niveau de l'industrie sidérurgique D'EL-HADJAR on a utilisé les procédés d'ultrafiltration combinée avec l'osmose inverse.

### III.6. ULTRAFILTRATION

L'ultrafiltration permet la séparation de macromolécules et d'espèces colloïdales. Le solvant ainsi que les solutés de faible masse molaire traversent la membrane selon un mécanisme convectif sous l'effet de la pression, tandis que les espèces de taille supérieures (colloïdes, protéines, polymères) sont retenues.

#### III.6.1. Caractéristiques de l'eau industrielle

La qualité de l'eau industrielle à traiter est représentée dans le tableau III.1.

**Tableau III.1 :** Caractéristiques de l'eau industrielle.

Paramètres	Unités	Min	Max
TA	°F	1,0	2,0
TAC	°F	2,5	6,0
Ca <sup>2+</sup>	°F	6	8,0
Mg <sup>2+</sup>	°F	1	3,0
TH	°F	9	11,0
Cl <sup>-</sup>	mg/L	35	60,0
TDS	mg/L	300	400
MES	mg/L	10,0	/
pH	/	8,5	9,5
Température	°C	10,0	26,0
Conductivité 25°C	µS/cm	300,0	400,0

### **III.6.2 Principe de l'ultrafiltration**

Le principe de la filtration membranaire a été développé dans les années 70 pour le traitement de liquides, notamment dans l'industrie laitière. Il a ensuite été utilisé pour la production d'eau potable à grande échelle.

Propre, performante et économique, l'ultrafiltration membranaire remplace souvent des techniques de traitement plus conventionnelles, du fait de sa capacité à éliminer les agents pathogènes et de sa compacité (elle peut remplacer avantageusement un système de coagulation, floculation avec filtre à sable). De plus, elle permet de valoriser les concentrats dans l'industrie (récupération de colorants, concentration en matière active...).

L'ultrafiltration est un procédé basse pression, où la force motrice est la pression du liquide à traiter (0 à 1,5 bars). Pré-filtré, le liquide brut est envoyé vers un module d'ultrafiltration constitué de membranes semi-perméables. Toutes les particules (parasites, bactéries, virus, germes, matières en suspension, macromolécules...) de taille supérieure au seuil de coupure sont retenues à la surface des membranes, et régulièrement éliminées par rétro-lavage. L'ultrafiltration est un procédé purement physique, l'ultrafiltration ne génère aucun sous-produit, et peut traiter n'importe quelle qualité d'eau avec la même action de clarification-élimination des bio-contaminants.

### **III.6.3. Description de l'unité de l'UF**

L'eau industrielle est amenée vers chaque rack membranaire (rack 1 et rack 2) via une vanne. La pression de filtration est généralement comprise entre 0,3 et 0,8 bar. Une lecture de débit, pH et température a été effectuée.

L'eau industrielle traverse la paroi des fibres creuses de l'extérieur vers l'intérieur. La structure poreuse de la membrane empêche le passage des espèces, particules, microbes, virus dont la taille est supérieure à 0,01  $\mu\text{m}$ . L'eau traitée est ensuite dirigée vers la production (bâche eau traitée) via la vanne de production. Le débit de perméat (filtrat) est contrôlé par un débitmètre, une régulation du débit de production est ainsi effectuée en renvoyant le signal vers le variateur de fréquence de la pompe d'alimentation. La turbidité de l'eau filtrée est contrôlée à la sortie de rack 1 et 2 ainsi que TPM 1 et TPM 2.

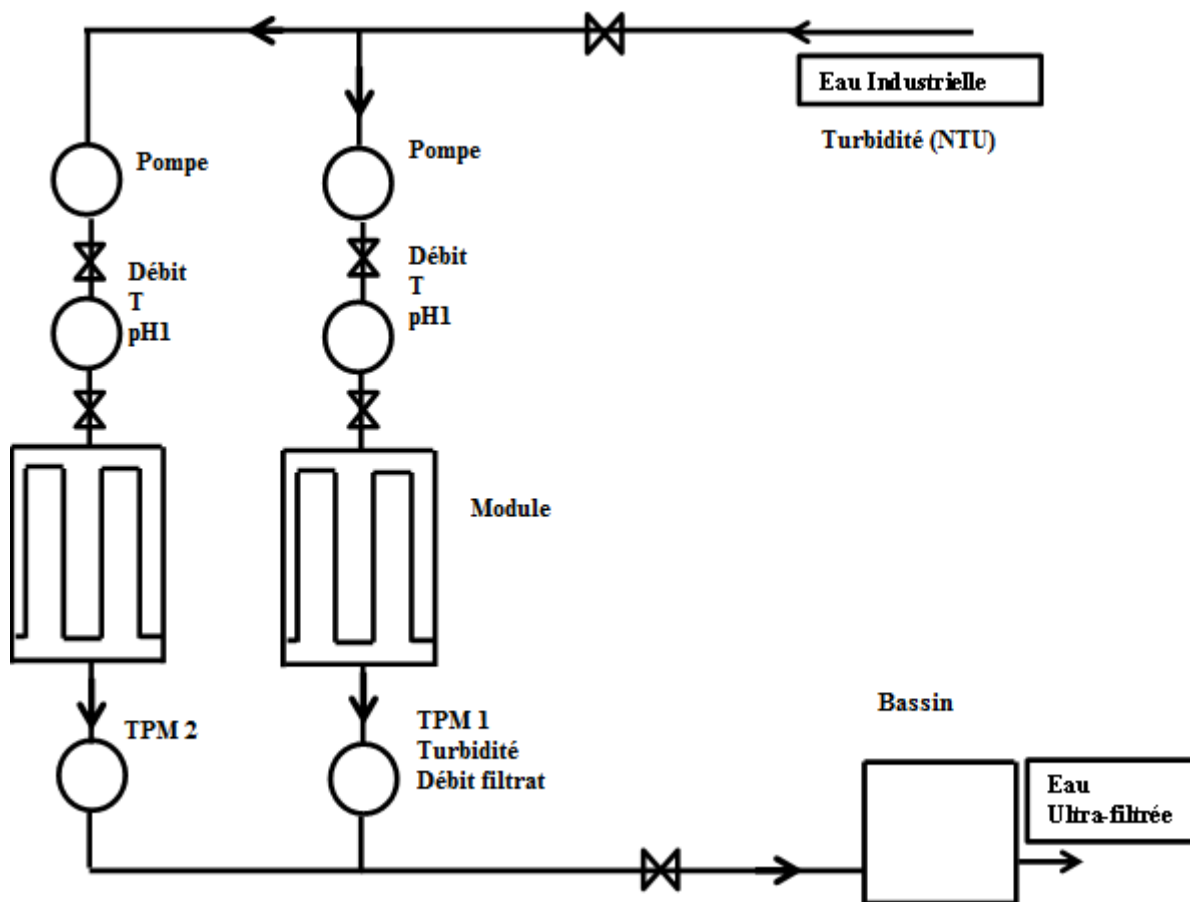


Figure III.12 : Procédé de l'ultrafiltration (auteurs).

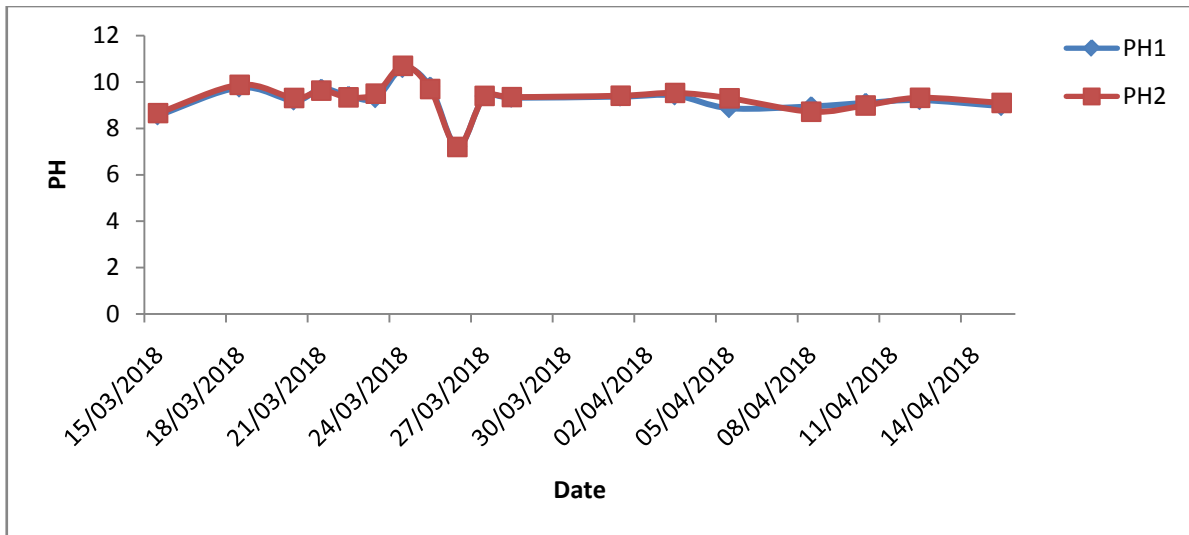
#### II.6.4. Résultats de l'UF

La perméabilité des membranes varie en fonction de la pression transmembranaire TMP, le pH, le débit du filtrat, la température, de la turbidité, etc.

L'ultrafiltration ProMinent est utilisée pour traiter l'eau industrielle.

#### pH

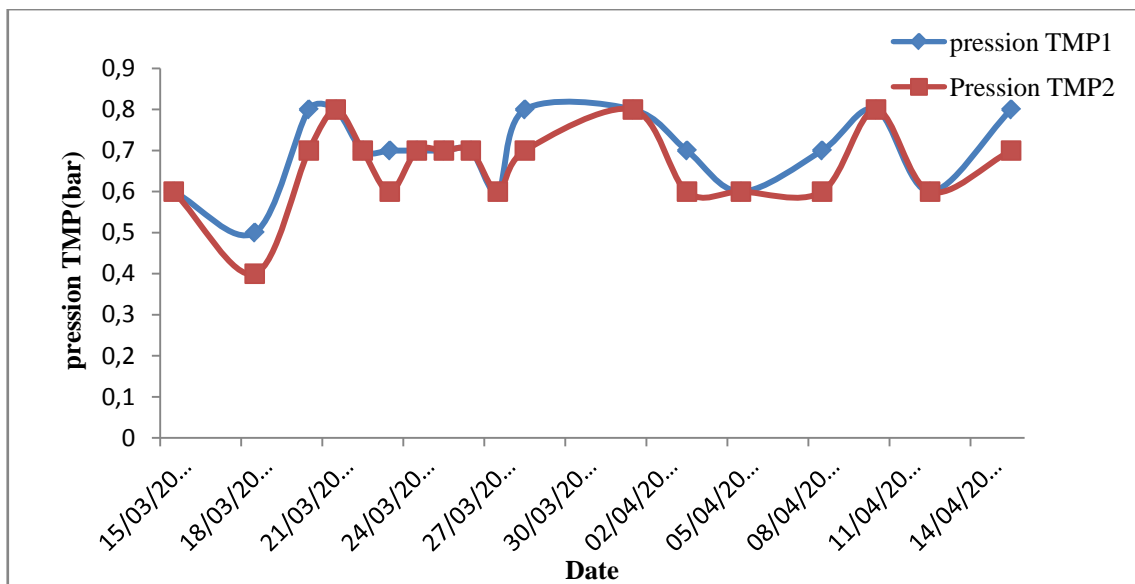
La variation du pH a été étudiée (figure III.13) en faisant deux lectures au niveau de l'ultrafiltration (équipée par deux détecteurs de pH). On constate que les deux pH-mètres indiquent les mêmes lectures. Elles varient de 7,2 à 10,7. Puis, les valeurs de pH se stabilisent à une valeur de 9,3.



**Figure III.13:** Variation du pH au cours de la période du test.

#### *Pression transmembranaire TMP*

La pression transmembranaire est la différence de pression appliquée entre les deux volumes séparés par la membrane. Elle doit être supérieure à la pression osmotique[28].



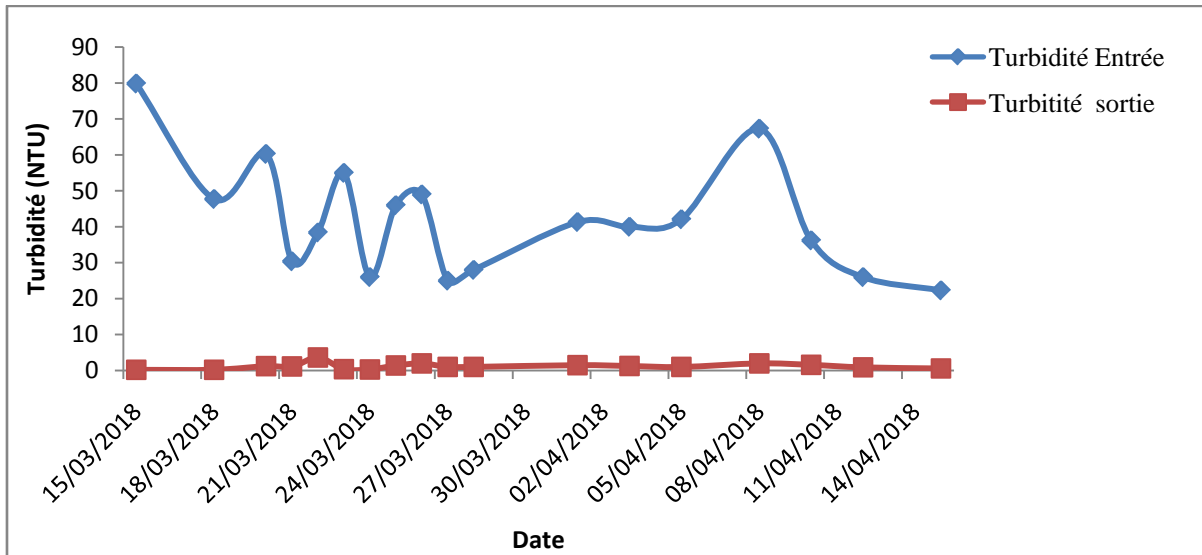
**Figure III.14:** Variation de la pression transmembranaire au cours de la période du test.

D'après la figure III.14, on remarque que la variation de la pression transmembranaire TPM pour les deux lectures TMP1 et TPM2 est presque identique. Cette variation est de 0,4 à 0,8bars. Cela est peut être dû à la variation de débits et/ou colmatage de la membrane.



### Turbidité

Les membranes d'ultrafiltration (UF) sont utilisées pour la rétention des solides en suspension (turbidité), des algues, coliformes, bactéries et virus. La réduction de la turbidité à moins de 0,2 NTU (généralement moins de 0,1 NTU) est assurée quelle que soit la qualité de l'eau à traiter.



**Figure III.15:** Variation de la turbidité au cours de la période du test.

On remarque une variation de turbidité à l'entrée est de 80NTU. Puis elle varie de façon aléatoire jusqu'à une valeur de 22,3NTU. Mais, elle reste constante à la sortie avec une valeur de 0 NTU.

Les turbidités de l'eau sont variables à cause de la pluie qui caractérise surtout la période Mars-Avril (période de stage).

Plus elle est importante, plus les phénomènes de turbulence sont favorisés. La concentration aux abords de la membrane et le colmatage sont alors moins importants, et la diminution de débit de perméat au cours du temps aussi [29].

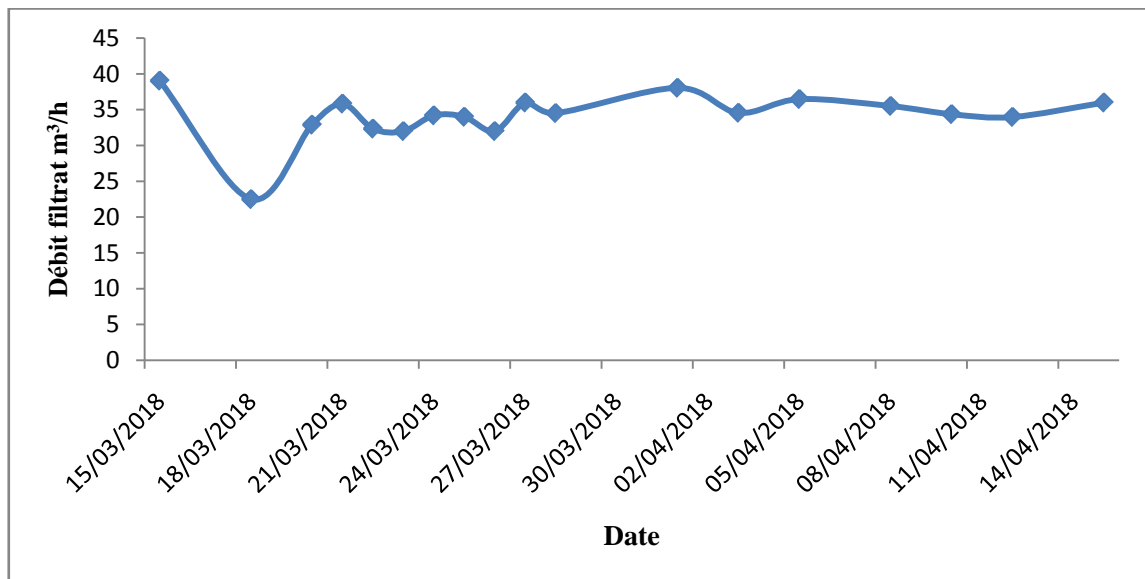
On peut dire qu'à la sortie de l'ultrafiltration toutes les matières en suspension sont éliminées c'est-à-dire que le traitement est efficace et l'appareil est en bon fonctionnement.

### Débit filtrat

C'est le débit du fluide qui s'écoule à travers la membrane.

Il ressort de la figure III.16 que le débit de filtrat diminue de 39,05 à 22,5m<sup>3</sup>/h, puis il augmente à une valeur de 35,84m<sup>3</sup>/h et à la fin il se stabilise à 36m<sup>3</sup>/h.

Cette variation est peut être expliquée qu'à basse pression transmembranaire PTM le débit de filtrat (flux de permeat) croît avec la PTM[29, 30].



**Figure III.16:** Variation du débit de filtrat au cours de la période du test.

### III.7.Osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression. Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de  $10^{-7}$  mm de taille.

L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement celle électronique consommée principalement par les pompes haute pression.

#### III.7.1 Qualité de l'eau traitée par osmose à produire

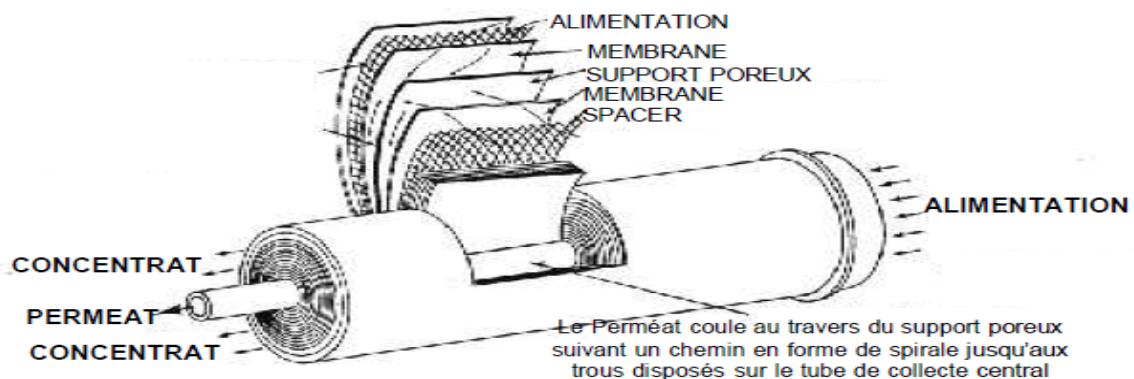
Le tableau suivant donne les caractéristiques d'une eau traitée par osmose.

**Tableau III.2 : Caractéristique de l'eau traitée par osmose**

Paramètres	Unités	Demandé par Arcelor
Débit net	m <sup>3</sup> /h	2 x 35 m <sup>3</sup> /h
TA	°F	0
TAC	°F	3 ÷ 5
TH	°F	< 0,3
Chlorures	mg/L	< 3
pH	6,5-8,3	/
TDS	mg/L	<8
Conductivité	μS/Cm	< 10
MES	mg/L	<2

### III.7.2 Membrane de l'osmose inverse

Les membranes industrielles utilisées sont des membranes en polyamide aromatique, de géométrie spirale.



**Figure III.17: Membrane spirale**

La figure III.17 représente une telle membrane spirale, où la membrane entoure un support poreux decollecte de perméat (solvant) et est enroulée en spirale avec interposition d'un spacer.

L'eau à dessaler circule axialement dans le spacer « Alimentation → Concentrât », le perméat traverse la membrane sous l'effet de la pression, et spirale vers le tube central collecteur, d'où il est extrait axialement. Il existe des membranes de diverses tailles : 2,5, 4 et 8 pouces.

Il est nécessaire de mettre en œuvre plusieurs membranes, ces membranes seront alors installées dans des tubes de pression, il est courant d'installer entre 1 et 7 membranes par tube.

### III.7.3 Principe de fonctionnement

L'eau brute après ultrafiltration, est dirigée vers la cuve d'eau.

Cette bache sera équipée d'un capteur de niveau avec deux contacts de niveaux logiques, pour les détections alarmes très haute et très basse.

L'eau UF issue de cette cuve est destinée à être dessalée. Les pompes à basse pression, permettent de transférer l'eau UF vers les pompes haute pression de l'osmoseur.

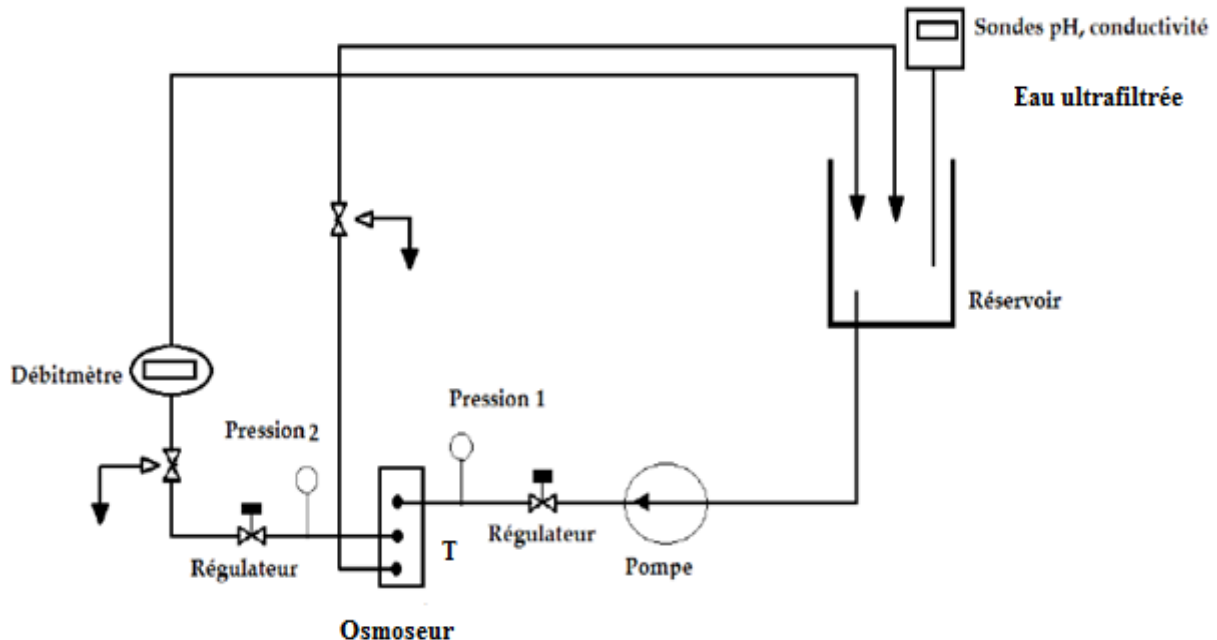
Sur ce parcours, l'eau filtrée est ensuite conditionnée, afin d'éviter les précipitations de sels sursaturés.

Une injection de séquestrant, destinée à inhiber les diverses précipitation de sels sursaturés, comme le sulfate de calcium et le fluorure de calcium. Le séquestrant est stocké dans un bac, où il pourra être utilisé pur ou dilué. Le dosage s'opère par pompe doseuse.

L'eau filtrée conditionnée, est micro-filtrée au travers les filtres à cartouches ayant une finesse de filtration nominale de 5 micromètres. Une sortie de test plein débit est prévu en aval du filtre à cartouches afin de contrôler la qualité du prétraitement.

Un mélangeur statique, placé sur la ligne permet l'homogénéisation de l'eau conditionnée.

Une pompe Haute Pression, va remonter la pression à une valeur suffisamment haute afin de permettre le passage au travers des membranes d'osmose inverse. Ces pompes sont principalement réalisées en inox.



**Figure III.18:** Schéma fonctionnel du montage d'osmose inverse (auteur).

Les pompes HP alimentent directement le premier étage de l'osmoseur, soit 4 carters de pression comprenant chacun 6 membranes d'osmose inverse.

Ce circuit alimente le second étage de l'osmoseur composé de 2 tubes de pression, chargés chacun de 5 membranes, identiques à celles installées au premier étage.

En sortie du second étage le perméat est tout comme au premier étage collecté et contrôlé : la conductivité et le débit.

Les perméats de premier et second étage sont rassemblés et dirigés vers la bache d'eau traitée. La figure III.18 Représente le montage de l'osmose inverse OI où on a réalisé tous les essais.

### III.7.4 Résultats de l'OI

Pour suivre la qualité de l'eau à traiter par osmose inverse on étudie les paramètres suivant : la pression HP, la température, la conductivité, la pression filtre, pH, pression concentrât et la pression perméat.

#### Haut pression (Pres.HP)

La pompe à Haute Pression remonte la pression à une valeur suffisamment haute afin de permettre le passage au travers des membranes d'osmose inverse. Les résultats représentés sur la figure III.19 montrent l'évolution de ce paramètre en fonction du période de stage.

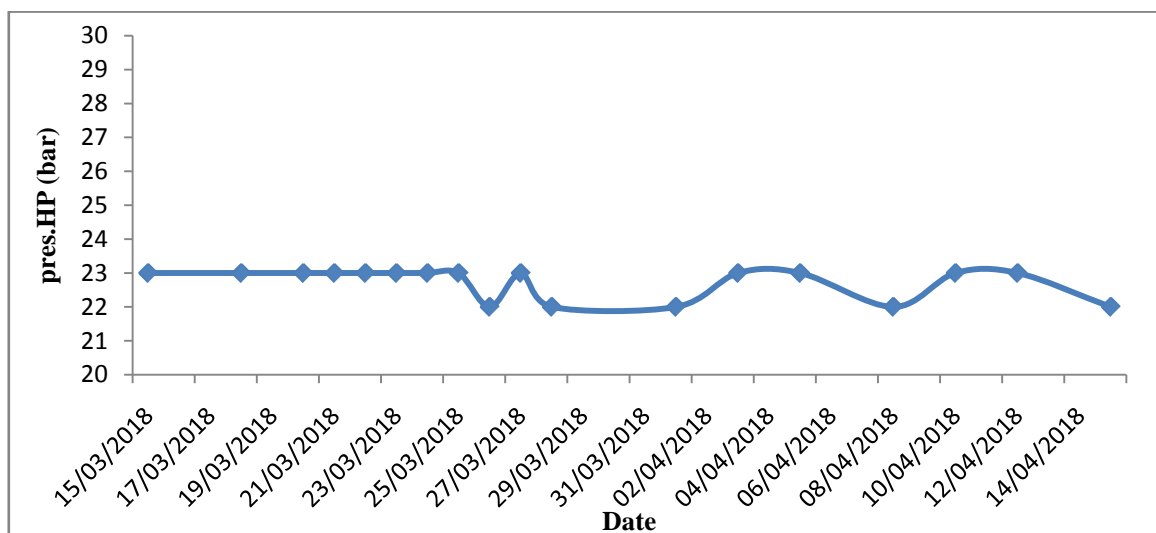
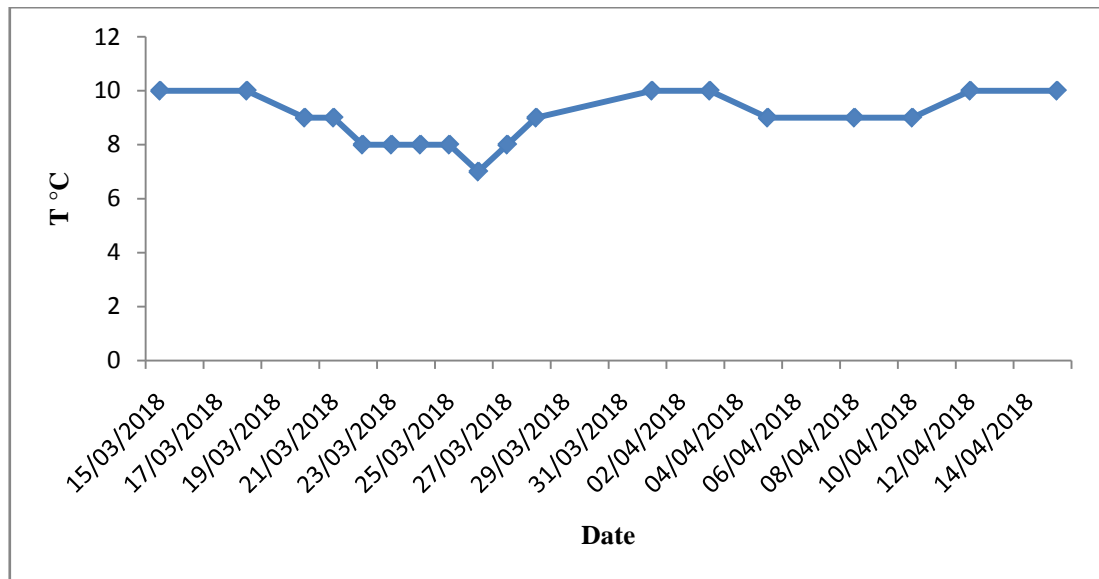


Figure III.19 : Evolution de la Haut Pression de l'osmose inverse OI en fonction des jours

La courbe de l'évolution de la Haut Pression pour le traitement de l'eau ultra-filtrée par l'osmose inverse donne (figure III.19) une valeur constante dans la première période de stage (23bars), puis on remarque une légère perturbation de 1 bar entre 22 et 23 bars.

### 🌈 Température

La température est entre 7 et 10°C. Donc, elle est froide.



**Figure III.20** :Evolution de la température de l'osmose inverse OI en fonction des jours

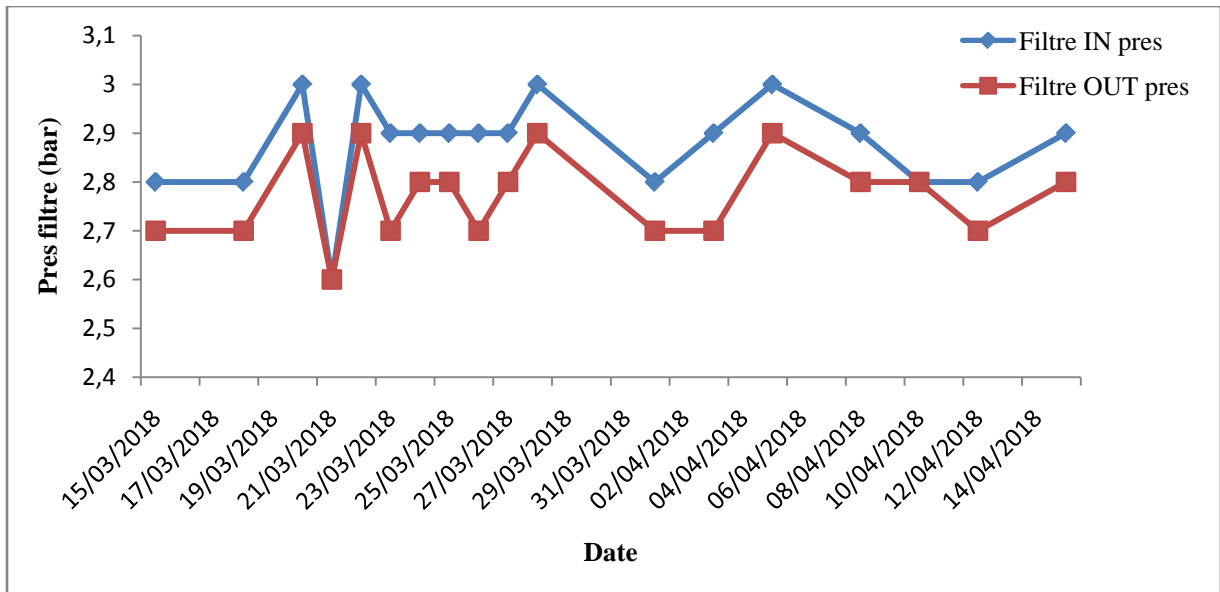
Il est important de vérifier que la membrane et le module aient une tenue suffisante à la température de fonctionnement choisie. La diminution de la température entraîne une diminution de la perméabilité de la membrane.

En effet, pour un modèle de transfert de matière de type poreux, la diminution de la température entraîne une diminution de la diffusivité de l'eau à travers la membrane.

Par ailleurs, l'augmentation de la température engendre une dilatation des diamètres des pores de la membrane améliorant ainsi sa perméabilité à l'eau.

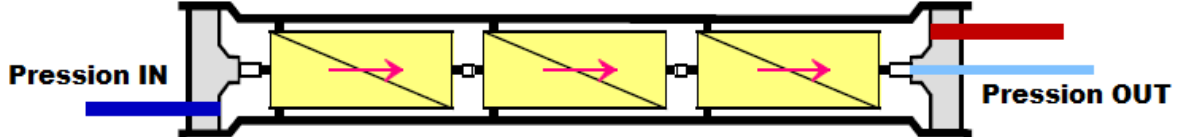
### 🌈 Pression filtre (Pres filtre)

La pression du filtre In est légèrement supérieure au filtre Out (> 0,1bar) voir la figure III.21. Puisque la pression du concentrât (ou retentât) est supérieure à la pression du filtrat (perméat).



**Figure III.21 :** Evolution de la pression filtre In et Out de l’osmose inverse OI en fonction des jours.

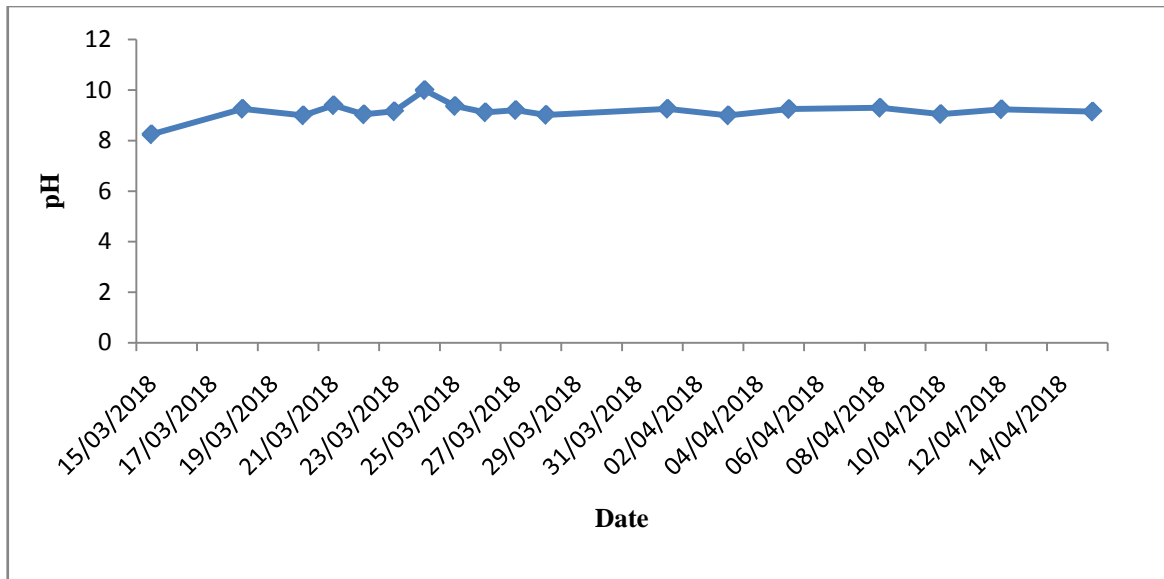
Cela traduit par le fait que le filtre fonctionne normalement c’est-à-dire pas de colmatage de la membrane par gélification ou précipitation des solutés[31].



**Figure III.22 :** Filtre In et Out.

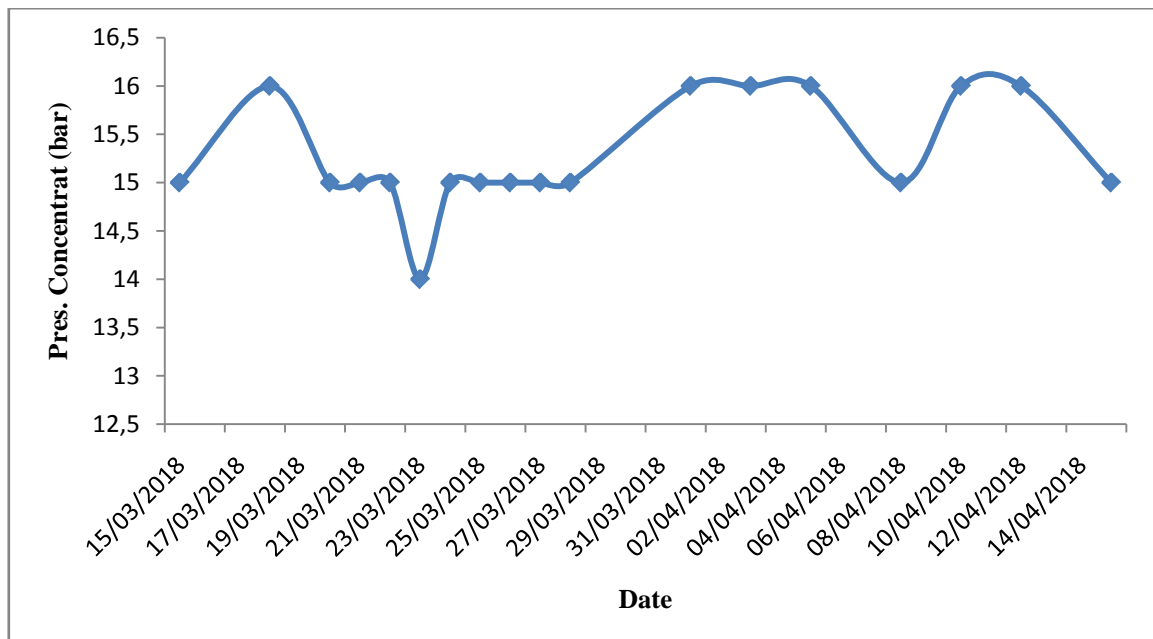
### ✚ pH

Le pH est constant dans toute la période d’étude (8,25 au 9,15). L’eau est a un caractère légèrement basique.



**Figure III.23** : Evolution du pH de l'OI en fonction des jours.

 **Pression concentrât (pres.concentrât)**



**Figure III.24** : Evolution de la pression de concentrât de l'osmose inverse OI en fonction des jours.

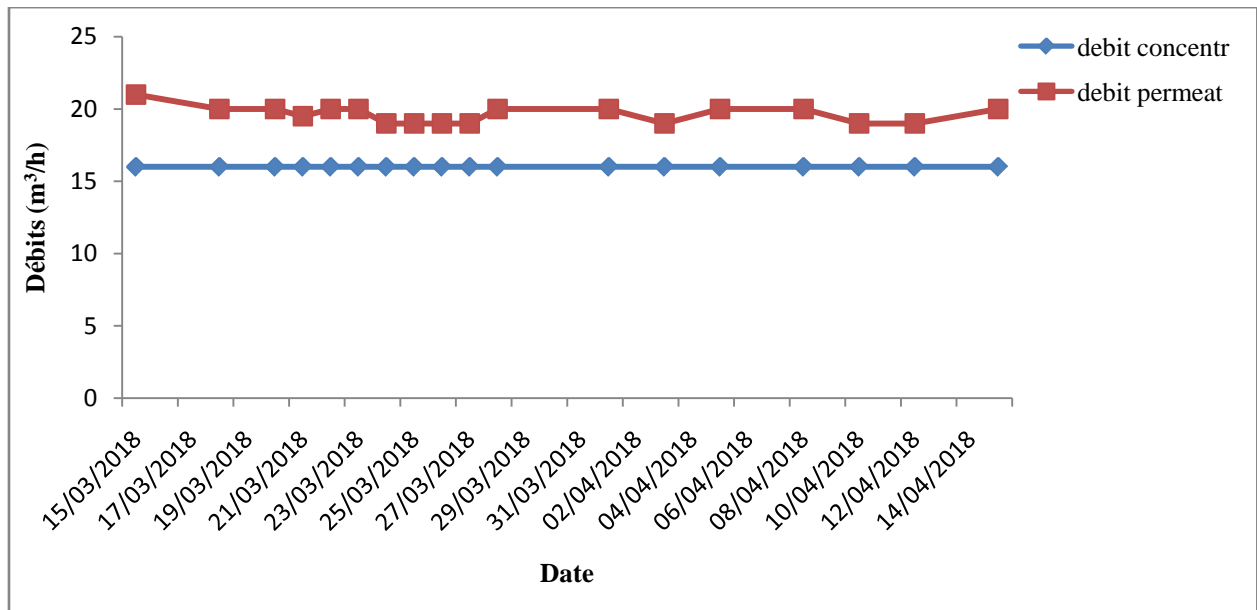
La pression de concentrât augmente et diminue autour de 15bars. On peut expliquer l'augmentation de la pression de concentrât de la manière suivante: Lorsque la pression transmembranaire TPM augmente, le flux de solvant augmente proportionnellement tandis



que le flux de solutés augmente moins rapidement. La concentration en soluté dans le perméat s'en trouve diminuée et par conséquent la pression de retentât (concentrât) est augmenté[9].

### 🚦 Débitde concentrât et débit de perméat

L'augmentation du flux de perméat est liée à l'augmentation de la perméabilité au solvant de la membrane avec l'augmentation de la température d'environ 3°C [9].



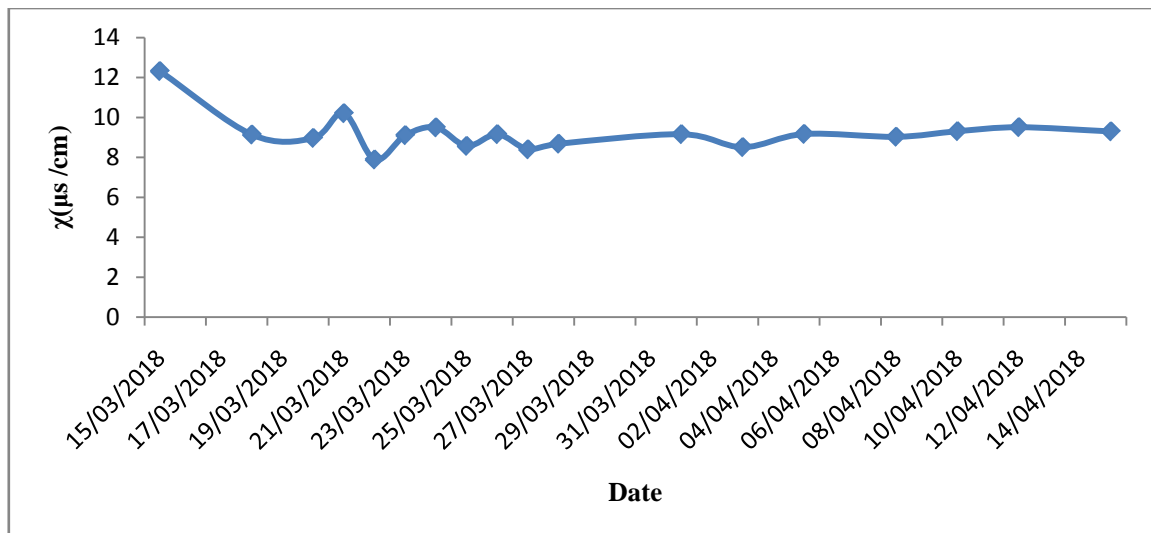
**Figure III.25 :** Evolution de la pression filtre In et Out de l'osmose inverse OI en fonction des jours.

On remarque que le débit de perméat est supérieur au débit de concentrât. On remarque aussi que le débit de perméat est presque constant à la valeur 20m<sup>3</sup>/h. La même chose pour le débit de concentrât, il est fixée à 16m<sup>3</sup>/h. L'écart entre les deux débits est de 4m<sup>3</sup>/h.

### 🚦 Conductivité

De 12 jusqu'à une stabilisation 9,4μS/cm. Cette valeur reste dans à la norme de l'eau osmosée (<10μS/cm).

L'augmentation de la conductivité de l'eau (perméat) traduit par une diminution de la sélectivité de la membrane. Donc un passage de solutés à travers la membrane a été effectué. En effet, la diffusivité aussi bien de l'eau que des solutés.



**Figure III.26 :** Evolution de la pression filtre In et Out de l’osmose inverse OI en fonction des jours.

### III.8. CONCLUSION

Dans le but de suivre la qualité des eaux de la zone Est du complexe sidérurgique d’El-Hadjar-Annaba, une analyse physico-chimique de l’eau brute et industrielle est prévue.

Les résultats obtenus montrent que le TAC de l’eau brute et industrielle ainsi que les MES de l’eau brute dépassent les normes. Le pH des deux eaux est alcalin. D’après la valeur de la dureté totale de l’eau brute on peut dire quelle est moyennement dure et celle de l’eau industrielle est douce. Les chlorures, TDS et conductivité sont des paramètres qui ont des valeurs dans les normes pour les deux types d’eaux. Les MES de l’eau industrielle sont aussi dans la norme. La température des deux eaux est froide (période Mars-Avril). Le pH des eaux est basique.

L’eau industrielle est ensuite traitée par ultrafiltration. On a trouvé que la mesure du pH indique que l’eau est encore basique (pH = 9,3). La valeur de TPM est presque constante pendant le traitement de l’eau. On a constaté que la turbidité à l’entrée est supérieure à la sortie, ce qui confirme le bon fonctionnement du processus où la membrane est sélective, perméable et propre. On a remarqué aussi que le débit de filtrat augmente avec l’augmentation du TPM.

Dans le but d’avoir une eau potable est la distribuée dans l’industrie, l’eau ultra-filtrée et ensuite dessalée dans l’osmose inverse OI. Les résultats du traitement donnent que une haute pression est constante durant le processus. L’eau à un pH basique est froide. La pression du concentrât est constante aux allons tours de 15bars. La pression du perméat diminue avec

l'augmentation de la pression du retentât. Le débit du concentrât est supérieur au débit de perméat. L'augmentation de conductivité ainsi que la valeur de la pression du filtre In, indique la membrane ne filtre pas l'eau convenablement à cause du problème de colmatage ou bouchage, précipitation des sels, durée de vie de la membrane, etc.

## CONCLUSION GENERALE

Cette étude a pour objectif de suivre la qualité des eaux industrielle et brute de la zone Est du complexe sidérurgique d'El-Hadjar-Annaba à travers l'analyse de différents paramètres physico-chimiques. Ensuite, un traitement membranaire est effectué de l'eau industrielle par ultrafiltration UF et puis par osmose inverse OI.

Selon les résultats des paramètres physico-chimiques on peut conclure que les eaux sont : froide, saumâtre et alcalin.

L'évaluation de l'influence des paramètres opératoires (pH, TPM, turbidité, pression, température, et débit) sur les performances du procédé de l'ultrafiltration et le procédé de dessalement par osmose inverse a montré d'une part la sélectivité et la perméabilité de la membrane de l'ultrafiltration. Et d'autre part, il montre aussi des problèmes de colmatage ou bouchage, précipitation des sels, des problèmes liés à la durée de vie de la membrane, des problèmes dus au compactage de la membrane avec le temps ce qui entraîne une baisse de perméabilité.

Pour résoudre ces problèmes, il faut vérifier si la source de l'eau brute est une eau de surface, la membrane doit être choisie en fonction de son aptitude à enlever les virus et sur le niveau d'abattement du COT (carbone organique total).

Si la source de l'eau brute est une eau souterraine, la membrane doit être choisie en fonction de l'aptitude à enlever les sels.

Réaliser des prétraitements classiques (coagulation, floculation et sédimentation par exemple) afin de se débarrasser des entités les plus colmatages.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] C. Condat-Ouillon, Etude du comportement des constituants laitiers en milieu fortement sodique et de leurs interactions en filtration sur membrane : application à la régénération par filtration tangentielle des solutions alcalines de NEP de l'industrie laitière. Toulouse, INPT, 1995.
- [2] A. Charfi, Study of a membrane bioreactor for the treatment of wastewaters : effect of biotic and abiotic parameters on membrane fouling, Thèses, Université de Carthage, 2014.
- [3] C. Menjeaud, M. Pontié, and M. Rumeau, Mécanismes de transfert en osmose inverse, Entropie, vol. 29, no. 179, pp. 13–29, 1993.
- [4] P. Punidadas, M. Decloux, and G. Trystram, Microfiltration tangentielle sur membrane minérale en céramique: application au traitement du sucre roux, Ind. Aliment. Agric., vol. 107, no. 7–8, pp. 615–623, 1990.
- [5] K. Wucherpfennig, Possibilités d'utilisation de processus membranaires dans l'industrie des boissons (osmose inverse, ultrafiltration, électrodialyse), Bulletin, 1980.
- [6] A. Abadi, La Division Fluide, *Rapport de stage*. Département sciences et technique Université Badji Mokhtar-Annaba, 2017.
- [7] Traité l'environnement. Technique de l'ingénieur. Volume G1210.
- [8] R. Desjardins, le traitement des eaux, Ed de l'école polytechnique de Montréal, 1997.
- [9] Z. Bouzelifa et S. Medjani, Analyse et contrôle de la qualité de l'eau adoucie de refroidissement de l'ACO<sub>1</sub> (MittalSteel) ». Mémoire de fin d'études. Département génie des procédés, Université Badji Mokhtar-Annaba, 2005.
- [10] Mémento technique de l'eau. Processus élémentaire du Génie physico-chimique en traitement de l'eau. Tome1, 10<sup>ème</sup> édition, Degrèment, mai 2005 p-185.
- [11] A. Bousnobra et F. Boudib, Influence de la qualité d'eau sur les circuits de refroidissement au niveau de l'ACO<sub>2</sub>. Mémoire de fin d'études. Département de chimie Université Badji Mokhtar-Annaba, 2000.
- [12] G. Crini and P.-M. Badot, *Traitement et épuration des eaux industrielles polluées: Procédés membranaires, bioadsorption et oxydation chimique*. Presses Univ. Franche-Comté, 2007.
- [13] A. Charfi, Study of a membrane bioreactor for the treatment of wastewaters : effect of biotic and abiotic parameters on membrane fouling, Theses, Université de Carthage, 2014.
- [14] M. T. Madigan, J. M. Martinko, and J. Parker, *Brock biology of microorganisms*, vol. 13. Pearson, 2017.
- [15] V. L. Bassani, Valorisation de formes galéniques végétales desalcoolisation et concentration de solutions extractives sur membrane d' osmose inverse, PhD Thesis, Doctoral Thesis, Faculté de Pharmacie: Montpellier, 1990.
- [16] P. Punidadas, M. Decloux, and G. Trystram, Microfiltration tangentielle sur membrane minérale en céramique: application au traitement du sucre roux, *Ind. Aliment. Agric.*, vol. 107, no. 7–8, pp. 615–623, 1990.
- [17] Sridhar S., Kale A., Khan A. A, Reverse osmosis of edible vegetable oil industry effluent, *Journal of Membrane Science*, 2002.
- [18] P. Klein, M. Kanehisa, and C. DeLisi, "The detection and classification of membrane-spanning proteins," *Biochim. Biophys. Acta BBA-Biomembr.*, vol. 815, no. 3, pp. 468–476, 1985.
- [19] Y. Shimizu, Y. Okuno, K. Uryu, S. Ohtsubo, and A. Watanabe, "Filtration characteristics of hollow fiber microfiltration membranes used in membrane bioreactor for domestic wastewater treatment," *Water Res.*, vol. 30, no. 10, pp. 2385–2392, 1996.

- [20] K. Wucherpennig, “Possibilités d’utilisation de processus membranaires dans l’industrie des boissons (osmose inverse, ultrafiltration, électrodialyse),” *Bulletin*, 1980.
- [21] C. Menjeaud, M. Pontié, and M. Rumeau, “Mécanismes de transfert en osmose inverse,” *Entropie*, vol. 29, no. 179, pp. 13–29, 1993.
- [22] M.Saihia, Prominentalgeriesarl, Alger, le 23 Décembre 2015.
- [23] M. L. Belghiti, A. CHAHLAOUI, D. Bengoumi, and R. El Moustaine, “Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quaternaire dans la région de Meknès (Maroc),” *LARHYSS J. ISSN 1112-3680*, no. 14, 2013.
- [24] M. A. Kouassi, E. K. Ahoussi, B. Y. Koffi, Y. A. Ake, and J. Biemi, “Caractérisation hydrogéochimique des eaux des aquifères fissurés de la zone Guiglo-Duekoué (Ouest de la Côte d’Ivoire),” *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 504–518, 2012.
- [25] S. Merabet, “Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et distribuées du barrage réservoir de Beni Haroun,” 2010.
- [26] M. Montginoul, “Les eaux alternatives à l’eau du réseau d’eau potable pour les ménages: un état des lieux,” *Ingénieries-EAT*, no. 45, p. p–49, 2006.
- [27] F. Lasserre and L. Descroix, *Eaux et territoires: tensions, coopérations et géopolitique de l’eau*. Puq, 2005.
- [28] A. Garem, J. Léonil, G. Daufin, and J. L. Maubois, “Nanofiltration d’acides aminés sur membranes organiques: influence des paramètres physico-chimiques et de la pression transmembranaire sur la sélectivité,” *Le Lait*, vol. 76, no. 3, pp. 267–281, 1996.
- [29] N. Moulai-Mostefa, A. Brou, L.-H. Ding, and M. Y. Jaffrin, “Ultrafiltration d’émulsions huile-eau et de microémulsions de cyclohexane par un système à disque rotatif,” *Mech. Ind.*, vol. 6, no. 2, pp. 203–210, 2005.
- [30] A. Beaubien, M. Baty, F. Jeannot, E. Francoeur, and J. Manem, “Design and operation of anaerobic membrane bioreactors: development of a filtration testing strategy,” *J. Membr. Sci.*, vol. 109, no. 2, pp. 173–184, 1996.
- [31] C. Sagne, “Etude des mécanismes de transfert de molécules organiques en osmose inverse. Application au recyclage des condensats issus de la concentration des vinasses de distilleries,” PhD Thesis, AgroParisTech, 2008.

# DETERMINATION DE L'ALCALINITE

## (Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet)

### 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. Réactifs :

- Acide sulfurique à 0.02N
- Phénolphtaléine à 0.5%
- Méthylorange à 0.5%

### 3. 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 eu 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.

#### 4. 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  $\text{CaCO}_3$  au litre, on a :

**1°F = 10mg de  $\text{CaCO}_3$  /L**



**Fig.1- Dosage volumétrique du TA et TAC**

### DETERMINATION DU TITRE HYDROTIMETRIQUE 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 tétraacétique (EDTA) en présence de noir ériochrome T en milieu tamponné.

#### 2. Réactifs :

- Sel disodique de l'acide éthylènediamine tétraacétique : solution à 0.01 N ;



- Solution indicateur noir ériochrome T
- Solution tampon ammoniacale (pH 10).

### 3. Mode opératoire :

- On prélève 100ml d'eau à analyser dans un erlenmyer;
- 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 ( $\text{Ca}^{+2}$ ) et magnésium ( $\text{Mg}^{+2}$ ) ;
- si la coloration est rose violet, nous déduisons une présence de calcium ( $\text{Ca}^{+2}$ ) et magnésium ( $\text{Mg}^{+2}$ ) 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 ( $^{\circ}\text{F}$ ).

### 4. Expression des résultats :

V : volume de la solution d'EDTA lu à la burette et qui exprime le TH en  $^{\circ}\text{F}$ . Pour convertir le TH en milligrammes de  $\text{CaCO}_3$  au litre, on a :

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



**Fig.2-Dosage volumétrique du TH.**

# DOSAGE 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 tétraacétique (EDTA) en présence de calconne carboxylique en milieu tamponné.

## 2. Réactifs :

- Hydroxyde de potassium 20% (solution tampon pH 12)
- Sel disodique de l'acide éthylène diamine tétraacétique : solution à 0.01 N ;
- Acide calconne carboxylique (indicateur coloré).

## 3. 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  $T_{Ca^{++}}$  exprimé en degré français (°F).

## 4. Expression des résultats :

**V** : volume de la solution d'EDTA lu à la burette et qui exprime le  $T_{Ca^{++}}$  en °F. Pour convertir le TH en milligrammes de  $CaCO_3$  au litre, on a :

$$1^{\circ}F = 10\text{mg de } CaCO_3 / L$$



**Fig. 3-Dosage volumétrique du  $T_{Ca^{+2}}$**

## **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. Réactifs :**

- Chromate de potassium ( $K_2CrO_4$ ) à 5% (indicateur) ;
- Nitrate d'argent ( $AgNO_3$  à 0.1 N).

### **3. 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.

#### 4. Expression des résultats :

V : Volume de nitrate d'argent lu directement sur la burette dont la teneur en ions chlorures 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 chlorure ( $\text{Cl}^-$ ).



**Fig.4-Dosage volumétrique du  $\text{Cl}^-$**

### **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 étalonnée pour que les mesures soient fiables.

### 3. Expression des résultats :

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



**Fig.5- pH- mètre**

## **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  $\text{mg} / \text{L}$ .



**Fig.6- Conductimètre de mesure de la conductivité**

## **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 des 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.



**Fig.7- Spectrophotomètre « H Dr 5000 »**

**Tableau.1 : Résultats des analyses de l'eau brute le mois de mars de l'année 2018.**

Date	TA (°F)	TAC (°F)	TH (°F)	Tc <sub>a</sub> <sup>+2</sup> (°F)	Mg <sup>+2</sup> (°F)	Cl- (mg/L)	TDS (mg/L)	χ (μs/cm) à 20°C	MES (mg/L)	T°C	pH
01/03/18	0	5,6	8,6	6	2,6	49	227	290	77	18	8,04
05/03/18	0	7	11	7,6	3,4	49	280	350	142	17	8,17
08/03/18	0	9,8	14	9,4	4,6	63,9	353	450	62	18	8,10
12/03/18	0	10	15,4	10,2	5,2	85,2	435	560	58	18,5	7,55
14/03/18	0	9,6	16,8	11,6	5,2	78	460	600	54	19	7,97
20/03/18	0	10	15,4	11,4	4	42,6	313	390	106	17	7,11
21/03/18	0	10	15,4	11,4	4	42,6	341,13	415	31	16	7,94
22/03/18	0	9,0	15	11,6	3,4	42,6	328	390	32	15	8,05
25/03/18	0	8,4	15	11	4	42,6	319	360	193	13	8,10
27/03/18	0	9,6	14,6	10,8	3,8	42,6	303	360	215	15	7,77
01/04/18	0	9,6	14,6	12,4	2,2	49	306	390	40	18	7,69
03/04/18	0	9,6	14,7	6	4,1	49,08	330	450	35	21	10
05/04/18	0	9,6	15,4	12,6	2,8	49	333	440	37	20	7,63
08/04/18	0	9,4	14,8	12,4	2,4	42,6	333	440	34	20	8,11
10/05/18	0	10	15	11	4	46	334	430	115	18,5	7,60
12/05/18	0	9,8	15	12,6	2,4	49	322	420	23	19	7,80
15/05/18	0	10	15	13	2	56,8	322	415	20	18,5	7,80



**Tableau .2. Résultats des analyses de l'eau industrielle le mois de mars de l'année 2018.**

Date	TA (°F)	TAC (°F)	TH (°F)	T <sub>ca</sub> <sup>2+</sup> (°F)	Mg <sup>2+</sup> (°F)	Cl <sup>-</sup> (mg/L))	TDS (mg/L)	χ (μs /cm) à 20°C	MES (mg/L)	T°C	pH
01/03/18	1,4	7	10,2	8	2,2	49	259	290	31	18	9,20
05/03/18	1,2	7	11	8	3	60,3	274	350	17	18	9,38
08/03/18	0,6	9,2	13,8	8,8	5	71	361	460	20	18	8,95
12/03/18	1	5,6	12	7	5	78	376	490	6	19	9,22
14/03/18	1	5,4	12,6	6,4	6,2	106,5	448	590	11	19,5	9,24
20/03/18	0,6	6	11,6	7,8	3,8	42,6	282	360	20	18	8,76
21/03/18	0,6	4,4	10,8	6,2	4,6	49,7	279,48	340	5	16	8,80
22/03/18	0,8	4,6	10,8	7	3,8	42,6	288	350	32	16	8,80
25/03/18	1	3	9,2	6	3,2	42,6	259	300	43	14,5	9,19
27/03/18	1,7	3,4	8,6	5,8	2,8	42,6	255	310	19	16	9,32
01/04/18	1,2	3,4	9,4	6,8	2,6	49	235	300	35	18	9,36
03/04/18	1,2	5,4	8,6	5,2	3,4	56,8	255	355	34	22	9,40
05/04/18	0,9	4,2	9,6	7,6	2	56,8	268	365	35	21	9
08/04/18	0,6	8,6	14,8	12	2	49	325	430	52	20	8,70
10/04/18	1,2	7,2	12,8	8,8	4	56,8	314	410	31	19	8,99
12/04/18	1,2	4,5	9,6	6,6	3	56,8	266	350	19	19,5	9,36
15/04/18	1	7,2	12,2	10,4	1,8	49	306	405	13	20	8,90

**Tableau .3.Résultats du paramètre d’ultrafiltration le mois de mars de l’année 2018.**

<b>Date</b>	<b>Pression TMP1</b>	<b>Pression TMP2</b>	<b>PH1</b>	<b>PH2</b>	<b>Turbidité Entrée</b>	<b>Turbidité Sortie</b>	<b>Débit filtrat</b>
15/03/18	0,6	0,6	8,56	8,66	79,86	0,2	39,05
18/03/18	0,5	0,4	9,76	9,88	47,73	0,22	22,5
20/03/18	0,8	0,7	9,20	9,31	60,27	1,21	32,9
21/03/18	0,8	0,8	9,71	9,63	30,40	1,13	35,84
22/03/18	0,7	0,7	9,40	9,34	38,42	3,63	32,35
23/03/18	0,7	0,6	9,30	9,50	55	0,4	32
24/03/18	0,7	0,7	10,6	10,7	26	0,3	34,2
25/03/18	0,7	0,7	9,8	9,7	46	1,40	34
26/03/18	0,7	0,7	7,2	7,2	49	2	32
27/03/18	0,6	0,6	9,40	9,4	25	1	36
28/03/18	0,8	0,7	9,32	9,35	28	1,02	34,52
01/04/18	0,8	0,8	9,37	9,41	41,32	1,50	38,05
03/04/18	0,7	0,6	9,42	9,53	40	1,27	34,56
05/04/18	0,6	0,6	8,87	9,3	42,1	1	36,48
08/04/18	0,7	0,6	8,95	8,72	67,3	2	35,51
10/04/18	0,8	0,8	9,10	8,99	36,22	1,59	34,37
12/04/18	0,6	0,6	9,22	9,32	26	0,89	33,98
15/04/18	0,8	0,7	8,96	9,10	22,30	0,58	35,99

**Tableau.4 : Résultats des paramètres d'osmose inverse le mois de mars de l'année 2018.**

Date	Pres.HP bar	Temp C <sup>0</sup>	Filtre IN pres	Filtre OUT pres	PH	Pres. concentrat bar	Débit . concentrat m <sup>3</sup> /h	Débit permeat m <sup>3</sup> /h	χ (μs /cm)
15/03/18	23	10	2,8	2,7	8,25	15	16	21	12,32
18/03/18	23	10	2,8	2,7	9,26	16	16	20	9,14
20/03/18	23	9	3	2,9	9	15	16	20	8,97
21/03/18	23	9	2,6	2,6	9,40	15	16	19,5	10,21
22/03/18	23	8	3	2,9	9,04	15	16	20	7,89
23/03/18	23	8	2,9	2,7	9,16	14	16	20	9,11
24/03/18	23	8	2,9	2,8	10	15	16	19	9,50
25/03/18	23	8	2,9	2,8	9,37	15	16	19	8,57
26/03/18	22	7	2,9	2,7	9,12	15	16	19	9,16
27/03/18	23	8	2,9	2,8	9,21	15	16	19	8,40
28/03/18	22	9	3	2,9	9,02	15	16	20	8,68
01/04/18	22	10	2,8	2,7	9,26	16	16	20	9,16
03/04/18	23	10	2,9	2,7	9	16	16	19	8,51
05/04/18	23	9	3	2,9	9,25	16	16	20	9,17
08/04/18	22	9	2,9	2,8	9,30	15	16	20	9,03
10/04/18	23	9	2,8	2,8	9,05	16	16	19	9,31
12/04/18	23	10	2,8	2,7	9,24	16	16	19	9,51
15/04/18	22	10	2,9	2,8	9,15	15	16	20	9,30

# **INTRODUCTION GENERALE**

# CHAPITRE I

# **CHAPITRE II**

# CHAPITRE III

# **CONCLUSION**

## **GENERALE**



# **ANNEXE**

# **ANNEXE 01**

# **ANNEXE 02**

**REFERENCES**

**BIBLIOGRAPHIQUES**