

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Technologie
Département : Génie des procédés.
Domaine : Sciences et technologies
Filière : Génie des procédés.
Spécialité : Génie Chimique.

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**Étude comparative de la qualité des eaux d'alimentation de la zone-
Est et l'usine à eau N1 au niveau du complexe sidérurgiques d'El-
Hadiar-Annaba**

Présenté par : *Rafraf Ines / Malek Ayoub*

Encadrant : Dr *LEILA SNANI*

MAB

UBMA

Jury de Soutenance :

M F.SAOUDI	MAA	UBMA	Président
Dr L.SNANI	MAB	UBMA	Encadrant
Dr L.ROUIBAH	MAB	UBMA	Examineur

Année Universitaire : 2023/2024

RESUME :

Le but de cette étude comparative était de suivre la qualité des eaux brutes, des eaux industrielles et des eaux de chaudière dans la Région de l'Est et l'usine à eau N°1 au niveau du Complexe sidérurgique Hajar à Annaba.

Nous avons fait un suivi et un contrôle de la qualité physico-chimique, notamment Des paramètres de la dureté (TH, Tca^{2+} et TMg^{2+}), de l'alcalinité (TA et TAC), du pH, de la Salinité (μ et TDS) et des matières en suspension de l'eau de barrage de CHAFFIA, dès son Arrivée au réservoir du Complexe, jusqu'à son stockage (chaîne de traitement) dans la Bâche alimentaire de chaudière ; les analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire Centrale du Complexe.

المخلص :

كان الهدف من هذه الدراسة المقارنة بين جودة المياه الخام والمياه الصناعية ومياه الغلايات في المنطقة الشرقية ومحطة المياه رقم 1 بمجمع الحجر للصلب في عنابة.

قمنا بمراقبة الجودة الفيزيائية والكيميائية والتحكم فيها، ولا سيما معايير الصلابة (TH و Tca^{2+} و TMg^{2+})، والقلوية (TA و TAC)، ودرجة الحموضة، والملوحة (μ و TDS) والمواد العالقة من مياه سد CHAFFIA، منذ وصولها إلى خزان المجمع حتى يتم تخزينه (خط المعالجة) في خزان طعام الغلاية؛ تم إجراء التحليلات في مختبر Centrale du Complexe.

Abstract :

The aim of this comparative study was to monitor the quality of raw water, industrial water and boiler water in the Eastern Region and factory No. 1 at the Hajar Steel Complex in Annaba.

We monitored and controlled the physico-chemical quality, in particular Parameters of hardness (TH, Tca^{2+} and TMg^{2+}), alkalinity (TA and TAC), pH, Salinity (μ and TDS) and suspended matter of Cheffia dam water, from its Arrived at the Complex reservoir, up to its Storage (treatment line) in the Boiler food cover ; the analyzes where carried out at the laboratory level Complex Power Plant

Remercîments :

Pour commencer, nous remercions Allah, le tout puissant pour son aide, sa Miséricorde et pour le courage qu'il nous a attribué afin de pouvoir réaliser ce présent travail de fin d'études.

Notre première pensée va tout naturellement à nos parents, sans eux nous ne serions pas en train d'écrire ces remerciements.

Merci au Madame << snani Leila >> notre directeur de mémoire, qui a dirigé et suivi nos travaux et qui a toujours su nous faire confiance et nous apporter l'aide nécessaire, tant sur le plan scientifique que moral.

Nous témoignons également notre reconnaissance à tous les membres de jury, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous adressons également nos sincères remerciements à tous les enseignants du département Génie des Procédés.

Nous tenons à remercier vivement notre responsable de stage Mr Mohamed Abainia nous avoir accueillis au sein de l'unité zone est du Complexe Sider El- Hadjar Annaba.

Nous avons profité de l'expérience des chercheurs et des ingénieurs et techniciens qui y travaillent

Nous voulons lui exprimer ici toute notre estime et notre profonde gratitude, pour ses compétences scientifiques et ses qualités humaines.

Nous remercions également toute l'équipe de la zone est pour leur accueil. Du département de Génie des Procédés de l'université Badji-Mokhtar -Annaba.

Merci infiniment à nos familles et nos Amies pour leur soutien et leur

Encouragement.

Merci à tous



DEDICACE :

Je dédie ce mémoire
À mes chers parents ma mère
et mon père
Pour leur patience, leur amour,
Leur Soutien
et leurs encouragements.
À mes frères.
À mes amies et mes camarades.
Sans oublier tout les
Professeurs
que ce soit du primaire, du
moyen, du secondaire ou de
l'enseignement supérieur



SOMMAIRE

RESUME :	2
Remerciements :	3
<i>DEDICACE</i> :	4
<i>INTRODUCTION GENERALE</i> :	11
CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE ET L'UNITE D'ETUDE :	15
I.2-Historique de l'entreprise :	16
I.2.2. Processus de la production :	18
I.2.3. Principales activités :	19
I.3- Division fluide :	20
I.3.1. Organisation de la division fluide :	21
I.3.2. Production de l'eau industrielle :	21
I.3.3. Production de l'eau déminéralisée :	24
I.4- Chaudières à combustibles :	25
I.4.1. Les chaudières à tube de fumés :	25
I.4.1.1 : Présentation :	25
I.4.1.2 : Fonctionnement :	26
I.4.2. Les chaudières à tube d'eau :	26
I.4.2.1 : Présentation :	26
I.4.2.2 : Fonctionnement :	26
I.5 Type de chaudière au niveau de la zone Est :	27
I.6 Constats des problèmes de la chaudière : [20]	28
Conclusion :	29
<i>Chapitre II : METHODES DE SEPARATION</i> :	30
Introduction :	31
II.1- Généralité sur la séparation par membranes :	31
II.1.1. Définition des membranes :	31
II.1.2. Caractéristiques des membranes :	31
II.1.3. Classification des membranes :	32
II.2. PROCEDES MEMBRANAIRES A GRADIENT DE PRESSION :	32
II.2.1. L'osmose inverse (OI) :	33
II.2.2. Nano filtration (NF) :	34
II.2.3. Ultrafiltration (UF) :	35
II.2.4. Microfiltration (MF) :	35

II.3. Membrane utilisée dans l'industrie :	35
II.3.1. Membrane de l'ultrafiltration UF :	35
II.4- Conclusion :	38
<i>CHAPITRE III : PARTIE PRATIQUE</i>	39
III.2- Contexte de l'étude :	40
III 2-1 Laboratoire d'analyses :	40
III.2.2. Laboratoire des huiles :	40
III.2.3. Laboratoire de matière première et des analyses spéciales :	40
III.2.4. Laboratoire de spectroscopie :	40
III.2.5. Laboratoire des eaux :	40
III.3- Paramètres physico-chimiques analysés :	40
III.3.1. Détermination de l'alcalinité :	41
III.3.1.1. Principe :	41
III.3.1.2. Réactifs :	41
III.3.1.3. Mode opératoire :	41
III.3.2. DETERMINATION DU TITRE HYDROTOMETRIQUE TH	43
III.3.2.1. Principe :	43
III.3.2.2. Réactifs :	43
III.3.2.3 Mode opératoire :	43
III.3.2.4 Expression des résultats :	43
III.3.3 DOSAGE DU TITRE CALCIQUE :	43
III.3.3.1 Principe :	44
III.3.3.2 Réactifs :	44
III.3.3.3 Mode opératoire :	44
III.3.3.4 Expression des résultats :	44
III.3.4.1 Principe :	45
III.3.4.2 Réactifs :	45
III.3.4.3 Mode opératoire :	45
III.3.4.4 Expression des résultats :	46
III.3.5 DETERMINATION DU PH.....	46
III.3.5.1 Principe :	46
III.3.5.2 Le PH Mètre :	46

III.3.5.3 Expression des résultats :	47
III.3.6 DETERMINATION DE LA CONDUCTIVITE	47
III.3.6.1 Principe :	47
III.3.6.2 LE CONDUCTIMÈTRE :	47
III.3.6.3 Expression des résultats :	47
III.3.7 DETERMINATION DES MATIERES EN SUSPENSION	48
III.3.7.1 Principe :	48
III.3.7.2 Mode opératoire :	48
III.3.7.3 Expression des résultats :	49
III.10 DÉTERMINATION DE LA TURBIDITÉ.....	49
III.10.1 Principe :	49
III.10.2 Mode opératoire :	49
III.10.3 Expression des résultats :	49
III.4.1. Le prélèvement :	50
III.4.2. Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau brute et industrielles :.....	51
III.4.2.1. Représentation graphique des paramètres :	51
III.6- Conclusion :	60

Liste des tableaux :

Tableau I- 1: Principales activités du complexe	19
Tableau I- 2: Caractéristiques de la chaudière de la zone Est	27
Tableau II- 1: les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse	34
Tableau II- 2: Eau osmosée à produire.....	37

Liste des figures :

Figure I- 1 : Logo SIDER EL HADJAR	16
Figure I- 2: Image par satellite du complexe d'EL HADJAR	17
Figure I- 3: Processus de la production de SIDER EL-HADJAR.....	18
Figure I- 4: Rack conduite (vapeur-gaz-eau-air)	20
Figure I- 5: Organisation de la division fluide	21
Figure I- 6: Brise de charge.....	22
Figure I- 7: coagulation et floculation	23
Figure I- 8: les filtres à sables	24
Figure I- 9: chaudière à tube de fumées.....	26
Figure I- 10: Chaudière de la zone Est	27
Figure II- 1: Fonctionnement de la séparation membranaire.....	31
Figure II- 2: Classification des membranes	32
Figure II- 3: Classement des Opérations membranaires selon la taille moyenne de pores (rayon)	32
Figure II- 4: principe de l'osmose inverse.1.....	33
Figure II- 5: membrane de l'ultra filtration.....	35
Figure II- 6: salle des produits Chimique	36
Figure II- 7: l'osmose inverse.....	37
Figure III- 1: Dosage volumétrique du TA et TAC.....	42
Figure III- 2: Dosage volumétrique du Tca++	45
Figure III- 3: dosage volumétrique de Chlorure.....	46
Figure III- 4: Couple pH- mètre/Conductimètre	47
Figure III- 5: Conductimètre « E587 ».....	48
Figure III- 6: Spectrophotomètre « H Dr 5000 »	49
Figure III- 7: Turbidimètre AL450T-IR	50
Figure III- 8: Variation du titre alcalimétrie simple des trois eaux (brute et industrielle et l'eau d'alimentation).....	51
Figure III- 9: Variation du titre alcalimétrie complet des trois eaux (brute et industrielle et l'eau d'alimentation).....	52
Figure III- 10: Variation de TH des trois eaux (brute et industrielle et l'eau d'alimentation)	53
Figure III- 11: Variation de la dureté calcique Tca2+ des trois eaux (brute et industrielle et l'eau d'alimentation).....	54
Figure III- 12: Variation des chlorures dans l'eau brute, industrielle et l'eau d'alimentation.....	55
Figure III- 13: variation des PH dans l'eau brute, l'eau industrielle et l'eau d'alimentation	56
Figure III- 14: variation des températures dans l'eau brute, l'eau industrielle et l'eau d'alimentation.	57
Figure III- 15: variation des conductivité dans l'eau brute, l'eau industrielle et l'eau d'alimentation..	58
Figure III- 16: variation de la Turbidité dans l'eau brute, l'eau industrielle et l'eau d'alimentation.....	59

Liste des abréviations :

Ca(OH)² : Lait de chaux

FeCl₃ : Chlorure ferrique

Ca(HCO₃) : Bicarbonate de calcium

Mg(HCO₃) : Bicarbonates de magnésium

°F : Degré français

°C : Degré Celsius

TDS : Totalité des sels dissous

TA : Titre Alcalimétrique simple.

TAC : Titre Alcalimétrique complet.

TH : titre hydrotimétrique .

EI : Eaux industrielle.

EO : Eaux osmosée.

EB : Eaux brute.

MES : Les matières en suspension.

NF : Nano filtration.

MF: Microfiltration .

UF: Ultrafiltration.

INTRODUCTION GENERALE

L'eau, essentielle à l'existence, constitue une ressource naturelle qui couvre environ 75% de la surface terrestre. Toutefois, une infime fraction, soit 0,014%, est constituée d'eau douce accessible pour la consommation humaine. [1] Il est vital après l'oxygène et représente le deuxième besoin essentiel de l'homme. Alors qu'un individu peut survivre sans nourriture pendant cinq semaines, il ne peut subsister sans eau pendant plus de trois à quatre jours. [2]

L'industrialisation croissante et la pollution de l'eau qui en résulte posent de sérieux défis pour l'approvisionnement en eau, suscitant des préoccupations accrues pour notre santé et notre qualité de vie. Les effets néfastes sur l'environnement sont particulièrement graves en raison de la détérioration mondiale de la qualité de l'eau, exacerbée par les déversements urbains et industriels dans les cours d'eau. Cette situation est prédominante dans les pays en développement où les coûts de traitement des eaux usées sont prohibitifs. Les eaux usées comprennent toutes les eaux altérées par l'usage domestique, industriel, agricole, et autres, qui sont collectées dans les systèmes d'égouts pour être traitées en station d'épuration, selon Baumont. En Algérie, l'augmentation démographique a entraîné une hausse de la consommation d'eau et de la production d'eaux usées, menaçant l'équilibre écologique et la qualité environnementale. Les eaux usées transportent divers polluants (hydrocarbures, métaux lourds, matières organiques, etc.), rendant leur consommation dangereuse pour la santé des animaux, des plantes et des humains, avec des risques à court et à long terme.

Annaba, une métropole industrielle majeure, tire avantage de sa géomorphologie et de son emplacement stratégique pour se distinguer dans les secteurs industriel et agricole, tout en connaissant une expansion urbaine. Cette croissance a malheureusement entraîné une pollution constante et préoccupante des sources d'eau, transformant rivières et réseaux de drainage en dépotoirs pour des rejets non traités. Devant cette situation, il devient crucial de développer des méthodes de traitement des eaux usées économiques, afin de réduire les dangers liés à la contamination de l'eau. [3]

Dans le secteur industriel, la gestion des eaux usées représente un défi environnemental majeur. Pour y faire face, diverses méthodes de traitement de l'eau sont explorées, dont la séparation membranaire se distingue. Les technologies membranaires, en tant que solutions innovantes, jouent un rôle crucial dans la protection de l'environnement. Elles facilitent la production d'eau potable (par dessalement) et fournissent aux industries de l'eau de qualité

spécifique pour leurs processus de production, comme dans les secteurs agroalimentaire et pharmaceutique. L'adoption des techniques membranaires est en hausse, stimulée par l'élargissement de leurs applications. Cette tendance devrait s'intensifier avec les enjeux de durabilité, la dépollution industrielle et l'efficacité énergétique et économique de ces méthodes de séparation.

L'Osmose Inverse (OI) et la Nano filtration (NF) sont des techniques de séparation membranaire utilisant un gradient de pression comme force motrice. Ces membranes, peu ou pas poreuses, sont essentielles au traitement de l'eau, notamment industriel. Elles sont parfois utilisées en complément de l'ultrafiltration et de la microfiltration pour affiner le traitement des liquides ou des effluents, notamment dans l'industrie laitière.[4]

Cette évaluation se fait par l'analyse D'échantillons d'eau brute, d'eau industrielle et d'eau de chaudière du complexe sidérurgique d'El-Hadjar .

La première partie est la partie théorique qui contient deux chapitres :

✓ première section de ce document est consacrée à l'exposé théorique, lequel est divisé en deux chapitres distincts :

- Dans le premier chapitre, une présentation générale du complexe SIDER est affichée ;

Complexe d'EL-HADJAR situé dans la zone industrielle d'Annaba, dans lequel la Division fluide et les installations liées au procédé de traitement de l'eau sont exposées. Et on a présenté la classification des chaudières, les types des chaudières à combustible et leurs fonctionnements, les problèmes rencontrés dans les chaudières, et le conditionnement des eaux de chaudières et la présentation des procédés de traitement au niveau du complexe, ainsi le type de chaudière utilisée dans la zone Est.

- Dans le deuxième chapitre est entièrement consacré à la littérature des méthodes de séparations Membranaires, notamment les procédés membranaires à gradient de pression.

✓ La partie pratique, en deuxième tranche :

Consiste en une étude expérimentale consacrée au contrôle de la Qualité des eaux brute, l'eau industrielle et l'eau osmosée celles qui alimentent la chaudière de notre site étudié.

✓ Enfin, La conclusion générale rassemble les résultats principaux, en incorporant les références bibliographiques et les annexes qui détaillent les méthodes d'analyse utilisées, les tableaux de conversion, et d'autres aides qui ont contribué à notre étude.

**CHAPITRE I : PRESENTATION
DE L'ENTREPRISE ET L'UNITE
D'ETUDE**

I.1-Introduction :

Le Complexe Sidérurgique d'El Hadjar, situé à Sidi Amar, wilaya d'Annaba, est un acteur majeur de l'industrie sidérurgique en Algérie. Fondé en 1969, il a été le témoin de l'évolution industrielle du pays. L'unité d'étude des fluides joue un rôle crucial dans le processus de production, en assurant la gestion et l'optimisation des ressources hydriques nécessaires aux différentes étapes de la sidérurgie. Ce complexe a connu divers défis, notamment en termes d'approvisionnement en eau et en coke, mais continue de contribuer significativement à l'économie nationale.

I.2-Historique de l'entreprise :

L'entreprise nationale de sidérurgie a été créée en 1959 par la Société Bônoise de Sidérurgie dans le cadre du plan de Constantine. Après l'indépendance, elle devient la Société Nationale Sidérurgie (SNS) en 1964 pour récupérer les richesses du pays et contribuer au développement économique et social. Elle évolue ensuite pour devenir l'Entreprise Nationale de Sidérurgie (ENS), et en 1969, elle établit un pôle sidérurgique à El Hadjar, devenant SIDER.



Figure I- 1 : Logo SIDER EL HADJAR

Dans les années 2000, suite à une politique de partenariat, le complexe sidérurgique prend successivement les noms d'ISPAT, MITTAL STEEL, et ARCELOR MITTAL.[5]

I.2.1. Situation géographique du complexe :

Le Complexe Sidérurgique d'EL-HADJAR est situé à l'Est du pays dans la zone Industrielle d'ANNABA. Il est implanté à 15Km, au sud de la ville, et occupe une Superficie plus de 800 ha. La superficie se répartie approximativement en trois zones :

- Les ateliers de la production, « 300 ha ».
- Les zones de stockage, « 300 ha ».
- Les surfaces des services, « 200 ha ».

Il dispose d'une infrastructures ferroviaires d'une longueur de 60km permettant de la libre circulation des matières premières et pré de 100km de route permettant la circulation des engins (autobus , camion , véhicule , Ect). [6]



Figure I- 2: Image par satellite du complexe d'EL HADJAR

I.2.2. Processus de la production :

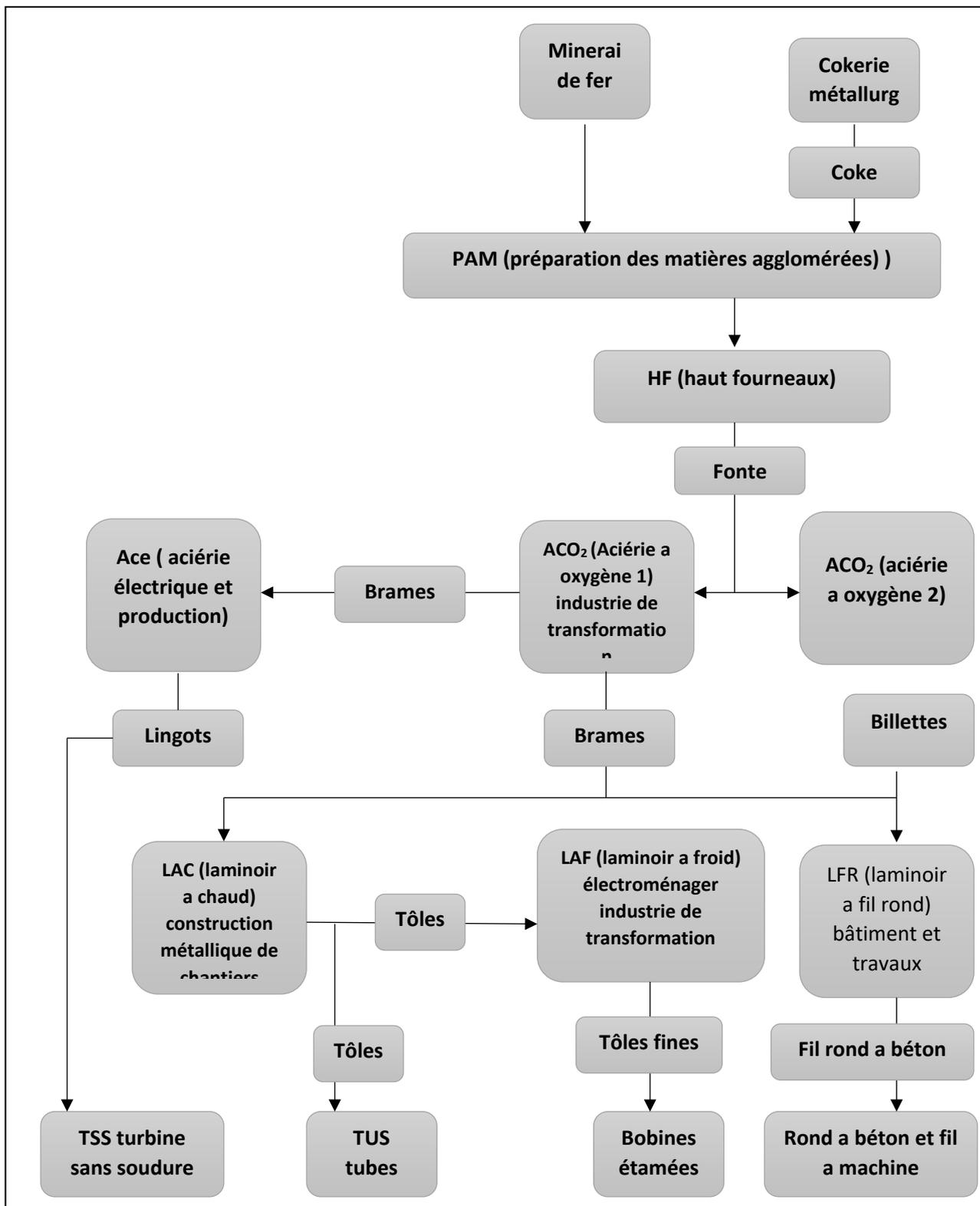


Figure I- 3: Processus de la production de SIDER EL-HADJAR

I.2.3. Principales activités :

Les principales activités du complexe sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau I- 1:Principales activités du complexe

Installation	Produits	Principaux utilisateurs
Cokerie	Coke	Métallurgie
	Fonte	Métallurgie
	Brames	Industrie de transformation
Laminoir à chaud (LAC)	Tôle forte	Construction métallique Chantier naval Tube bouteilles à gaz
Laminoir à froid (LAF)	Tôles fine	Électroménager Mobilier métallique Industrie de transformation
Etamage	Fer blanc	Emballage métallique Divers pour les industries Alimentaire et chimique
Galvanisation	Tôles galvanisées	Bâtiments pour l'agronomie Industrie et levage
Aciérie Électrique (ACE)	Lingots	Recherche et production pétrolière Transport des hydrocarbures
Laminoir à fil rond (LFR)	Fil rond à biton	Bâtiment et travaux publics

I.3- Division fluide :

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

Ce service assure la production des plusieurs fluides.[7]

- La distribution et la production de l'eau industriel.
- La distribution et la production de l'air service.
- La distribution et la production de la vapeur saturé.
- La distribution et la production du gaz naturel
- La distribution et la production de l'eau potable



Figure I- 4: Rack conduite (vapeur-gaz-eau-air)

I.3.1. Organisation de la division fluide :

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

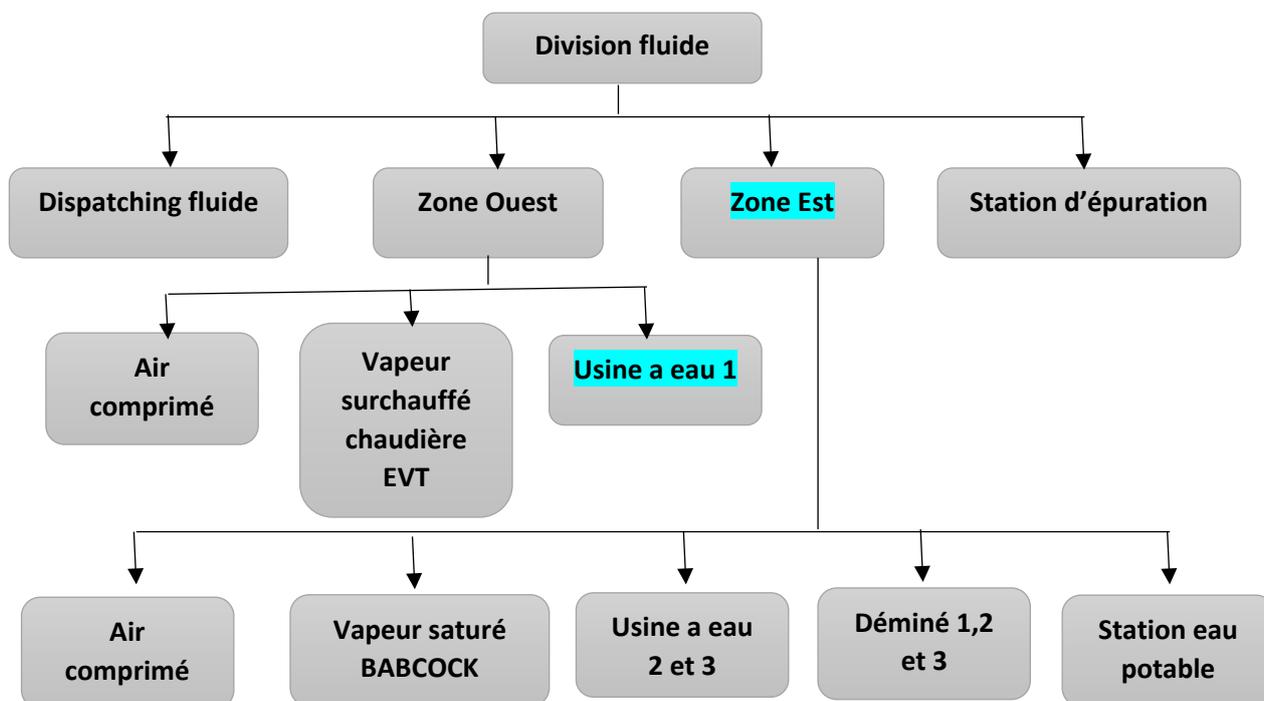


Figure I- 5: Organisation de la division fluide

I.3.2. Production de l'eau industrielle :

La zone orientale de la division des fluides est cruciale pour l'expansion de la production du complexe, car elle traite une grande quantité d'eau nécessaire à d'autres zones. Cette eau est utilisée pour produire de la vapeur surchauffée dans les chaudières. Nous allons étudier le trajet de l'eau dans cette zone, de son entrée à son traitement complet et son utilisation finale dans les chaudières.

➤ Eau brute :

Le réseau d'eau qui alimente l'usine provient du barrage de CHAFFIA vers la station de pompage qui se trouve à Sidi Amar, cette dernière alimente le complexe avec des conduites 1050mm sous une pression de 4 Bars et un débit de 2000 m³/h . L'usine possède une réserve en eau qui peut servir en cas externe. [8]

➤ Arrivée d'eau :

L'eau est acheminée dans cette conduite depuis la réserve privée du Complexe, dont la pression est régulée dans la salle de pompage EBS.

L'eau qui arrive dans cette conduite est amortie dans un bassin appelé aussi le brise-charge. C'est dans cet équipement qu'il est injecté le lait de chaux Ca(OH)_2 , le chlorure ferrique (FeCl_3) et le polymère (Sp6)



Figure I- 6: Brise de charge

A) Coagulation et floculation

La coagulation de l'eau brute implique l'ajout d'un électrolyte, souvent un sel de métal trivalent comme Fe^{3+} ou Al^{3+} , pour neutraliser les charges négatives des particules en suspension, favorisant ainsi leur agglomération en floccs plus volumineux. Ce processus se fait en deux étapes : la neutralisation des colloïdes électronégatifs et l'agrégation des particules en floccs plus gros pour faciliter leur sédimentation [9]

- ✓ **Les coagulants** : est la déstabilisation de particules colloïdales par addition d'un réactif Chimique appelé coagulant
- ✓ **Les flocculants** : Le processus implique la transformation de particules déstabilisées en microflocs, qui se développent ensuite en flocons plus grands, appelés floccs. L'ajout d'un flocculant favorise la formation de ces floccs [10]



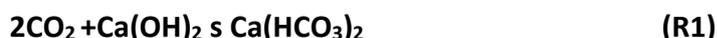
Figure I- 7: coagulation et floculation

Décarbonatation à la chaux :

La décarbonatation à la chaux est un processus qui diminue la dureté temporaire de l'eau, causée par les bicarbonates de calcium $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ et de magnésium $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, en les précipitant. [11]

La chaux, employée sous forme de lait de chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$, précipite les bicarbonates de Calcium et de magnésium sous forme de cristaux (petits grains fins). Les réactions de Décarbonatation sont les suivantes :

- En premier temps, l'eau contient du CO_2 ; celui-ci réagit le premier sur la chaux pour former de l'hydrogénocarbonate de calcium :



- Par conséquent, une augmentation du TAC et de Tca^{2+} favorise la précipitation du CaCO_3 , selon la réaction :



- Si $\text{Tca}^{2+} < \text{TAC}$, on obtient la réaction suivante :



- si il y a un excès de chaux, cela conduira à la réaction :



Il suffit de retirer les petits grains contenus dans l'eau pour avoir une eau partiellement épurée [12].

L'eau stagnante est dirigée vers un décanteur par une conduite souterraine pour éliminer les particules et obtenir de l'eau de qualité industrielle.

B) Décantation :

La décantation est un processus de séparation physique utilisé dans un décanteur pour séparer les phases non miscibles en exploitant leur différence de densité. Le décanteur est équipé d'un bras rotatif qui déplace les sédiments vers le fond conique, où se produit la floculation, séparant l'eau épurée des boues, évacuées par un conduit distinct [13]

Après traitement, l'eau se déverse dans ce canal où elle subira une filtration supplémentaire pour atteindre une qualité optimale.

C) Filtration par sable :

La filtration lente utilise un lit de sable pour purifier l'eau à une vitesse de 0,1 à 0,2 m/h, améliorant sa qualité en diminuant la membrane biologique. Cette méthode se déroule dans les bactéries de filtration après le décanteur, produisant finalement une eau industrielle de haute qualité [11]

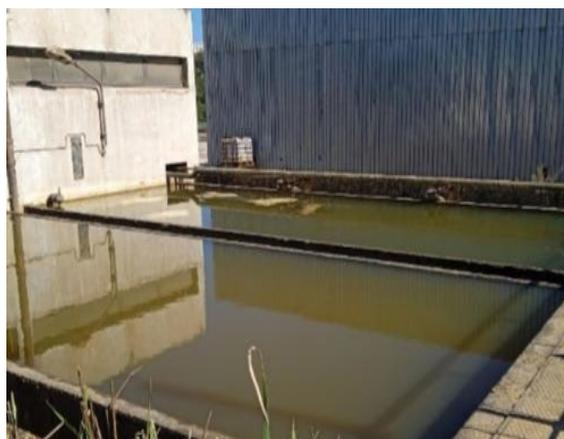


Figure I- 8: les filtres à sables

L'eau filtrée par le sable est dirigée vers la salle de traitement où elle est stockée dans des réservoirs souterrains avant d'être relâchée des bassins de sable. Cette eau industrielle est principalement utilisée pour le refroidissement, par exemple dans les machines à coulée continue, l'épuration des gaz et des poussières des convertisseurs, ainsi que pour divers équipements comme les échangeurs et les pompes. [14]

I.3.3. Production de l'eau déminéralisée :

La filtration par osmose inverse purifie l'eau en éliminant les ions, les molécules indésirables et les particules plus grandes à travers une membrane semi-perméable sous pression. Le prétraitement,

comme l'ultrafiltration, est crucial pour protéger la membrane et garantir une qualité d'eau optimale. L'eau déminéralisée ainsi obtenue est utilisée dans diverses applications industrielles, telles que l'alimentation des chaudières pour prévenir l'entartrage et la corrosion, ainsi que dans les systèmes de refroidissement pour capturer les gaz et les poussières émis par les convertisseurs, assurant un fonctionnement plus sûr et plus propre des installations industrielles. [15]

I.4- Chaudières à combustibles :

La chaudière est un dispositif permettant de chauffer l'eau et de produire de la vapeur si l'eau est chauffée au-delà de la pression atmosphérique.

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

L'idée d'utiliser la vapeur comme force motrice remonte au 1^{er} siècle Apr JC avec l'invention de l'éolipile par Héron d'Alexandrie.

Mais ce n'est véritablement qu'à partir de la fin du 17^{ème} siècle que les ingénieurs ont développé les machines à vapeur modernes. En 1800, l'ingénieur américain Evans mis au point la première chaudière à tubes de fumée qui servit dans les premières locomotives [16].

I.4.1. Les chaudières à tube de fumés :

I.4.1.1 : Présentation :

Les chaudières à tubes de fumée, souvent de petite taille, génèrent de la vapeur saturée à des pressions ne dépassant pas les 20 bars. Elles sont constituées d'un réservoir d'eau que traversent des tubes par lesquels les gaz de combustion circulent. Le tube initial, qui est le plus large, constitue le foyer de la chaudière. Cette conception est couramment adoptée pour l'utilisation de combustibles liquides ou gazeux. La configuration typique d'une chaudière à tubes de fumée est représentée dans le schéma suivant. [17]



Figure I- 9: chaudière à tube de fumées

I.4.1.2 : Fonctionnement :

Le tube foyer d'une chaudière collecte les gaz chauds du brûleur dans le ballon de la chaudière. Ces gaz circulent à travers des tubes immergés dans l'eau du ballon, passant par plusieurs caissons, avant d'être évacués par la cheminée. Cette circulation des gaz assure le transfert de chaleur nécessaire pour vaporiser l'eau dans la cuve..[18]

I.4.2. Les chaudières à tube d'eau :

I.4.2.1 : Présentation :

Ce type de chaudière génère un débit de vapeur saturée dépassant 60 tonnes par heure, fonctionnant à des pressions moyennes à élevées allant jusqu'à 100 bars. Elle peut être alimentée par divers combustibles tels que le gaz, le fioul, le charbon ou des déchets.[19]

I.4.2.2 : Fonctionnement :

Ce type de chaudière est composé de deux réservoirs, le ballon distributeur en bas et le ballon collecteur (ou de vaporisation) en haut, reliés par des tubes vaporisateurs. L'eau circule à travers ces tubes où elle se transforme en vapeur sous l'action des gaz chauds du brûleur. La vapeur est ensuite recueillie dans le ballon supérieur tandis que l'eau excédentaire retourne au ballon inférieur via des tubes de chute non chauffés. Dans les applications à haute pression, une pompe peut être utilisée pour faciliter cette circulation. Ces chaudières intègrent divers échangeurs de chaleur pour

surchauffer la vapeur (surchauffeur) et préchauffer l'eau d'alimentation en utilisant les fumées déjà refroidies (économiseur primaire, secondaire, etc.[19]

I.5 Type de chaudière au niveau de la zone Est :



Figure I- 10: Chaudière de la zone Est

La zone Est joue un rôle essentiel dans la production de vapeur sous pression au sein du complexe. Cette vapeur est utilisée dans divers domaines. La chaudière installée dans cette zone est un modèle à tubes d'eau, comme illustré dans la figure ci-dessus :

Les principales caractéristiques de cette chaudière sont répertoriées dans le tableau ci-dessous :

Tableau I- 2: Caractéristiques de la chaudière de la zone Est

Paramètres	Données
Capacité	15 T/h
Pression maximale admissible	15 bars
Température d'alimentation	105 °C
Température maximale de fluide	201 °C
Fluide	Vapeur
Combustible	Gaz naturel

I.6 Constats des problèmes de la chaudière : [20]

L'eau d'alimentation de la chaudière est composée d'une part d'eau condensée récupérée, quasiment exempte de sels, et d'une autre part d'eau d'appoint traitée. Un traitement inadéquat de cette eau entraîne des problèmes qui nuisent à la fiabilité du matériel, perturbent son fonctionnement et accroissent les coûts d'exploitation.

Les inconvénients provoqués par les sels et les impuretés de l'eau dans une chaudière sont :

- Les incrustations dans les chaudières sont dues à l'accumulation de sels, comme le calcium, qui se cristallisent et bloquent la transmission de chaleur. Cela peut entraîner des surchauffes et des défaillances. La solubilité variable des sels avec la température et la concentration en silice influencent ce processus, surtout dans les chaudières à haute vaporisation où la sursaturation des sels peut se produire.
- **Le phénomène de primage**, qui correspond à l'entraînement de gouttelettes liquides dans la vapeur, entraîne une réduction de l'efficacité énergétique de la vapeur et conduit à l'accumulation de dépôts salins sur les éléments de surchauffe et les turbines. Ce processus est influencé par la viscosité et la tension superficielle de l'eau, lesquelles dépendent de l'alcalinité, de la présence de composés organiques et du niveau global de salinité. Par ailleurs, l'ampleur du primage est également déterminée par la conception de la chaudière et son mode de fonctionnement en termes de production de vapeur.
- Le transport de particules minérales volatiles dans la vapeur lors de l'ébullition, en particulier la silice qui devient volatile à des températures supérieures à 250 °C, peut causer des problèmes significatifs. Ces particules minérales se fixent sur les pales des turbines, perturbant sérieusement leur fonctionnement. Ce phénomène s'intensifie avec l'augmentation de la pression et, par conséquent, de la température. Il existe également une corrélation entre la fréquence de ce phénomène et la concentration des minéraux volatils présents dans l'eau de la chaudière.
- **La corrosion** dans les chaudières est principalement due à l'oxygène, au CO₂ ou à l'eau réagissant avec le fer. Il est essentiel de contrôler la concentration des contaminants dans l'eau pour prévenir les dommages. Les purges aident à maintenir cette concentration, mais un faible taux de purge peut augmenter la salinité et aggraver la corrosion .

Conclusion :

Ce chapitre nous a familiarisés avec la littérature sur les chaudières, en particulier celles dans la zone Est du Complexe, et leurs méthodes de conditionnement. Cet aperçu guide notre étude pratique en ciblant précisément le contexte de nos travaux. Notre objectif est d'évaluer la qualité de l'eau.

Chapitre II : METHODES DE SEPARATION

Introduction :

En raison des crises énergétiques et économiques, les biotechnologies ont connu une croissance significative. Elles se concentrent notamment sur la réutilisation, la transformation et la récupération des sous-produits de l'industrie. Dans ce contexte, de nombreux efforts sont déployés dans le développement de techniques de séparation par membrane.

II.1- Généralité sur la séparation par membranes :

II.1.1. Définition des membranes :

La membrane est une barrière sélective semi-perméable qui sépare les substances en fonction de leur taille sous l'effet de forces chimiques ou physiques. La filtration sur membrane est utilisée pour séparer les fluides ou les particules afin de récupérer des composants valorisables comme l'eau, le lactose ou les sels minéraux. Le processus de séparation produit un retentat, contenant les molécules retenues, et un perméat, contenant les molécules qui traversent la membrane [21]

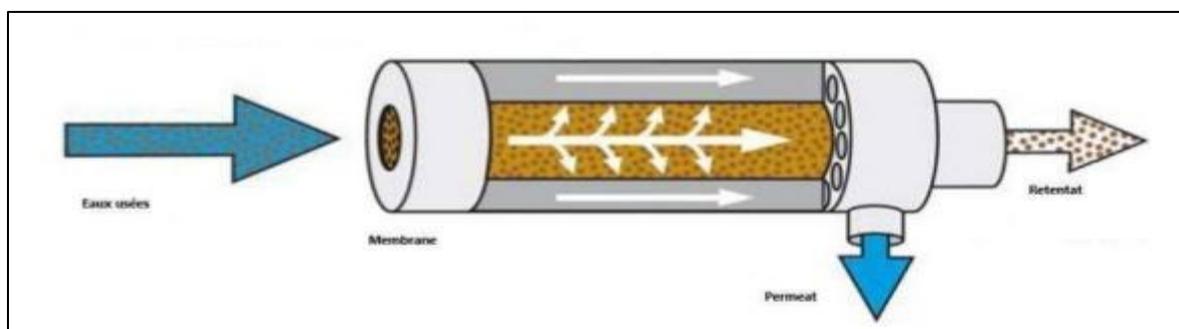


Figure II- 1: Fonctionnement de la séparation membranaire

II.1.2. Caractéristiques des membranes :

Les membranes de séparation retiennent les particules en fonction de leur diamètre ou de leur masse molaire. Les composés dont la masse molaire dépasse le seuil de coupure sont retenus à plus de 90%, tandis que ceux en dessous de ce seuil le sont à moins de 90%. Le seuil de coupure dépend de la taille des pores de la membrane, mais aussi de facteurs tels que la forme, la charge, l'hydratation de la molécule, le pH, la force ionique de la solution, la pression et le flux. [22].

II.1.3. Classification des membranes :

Les membranes sont des structures qui peuvent être poreuses ou non-poreuses et sont fabriquées à partir de substances minérales, organiques ou une combinaison des deux. Elles sont souvent homogènes mais peuvent également être composites. La figure II-2 illustre comment les membranes sont classifiées selon différents critères :

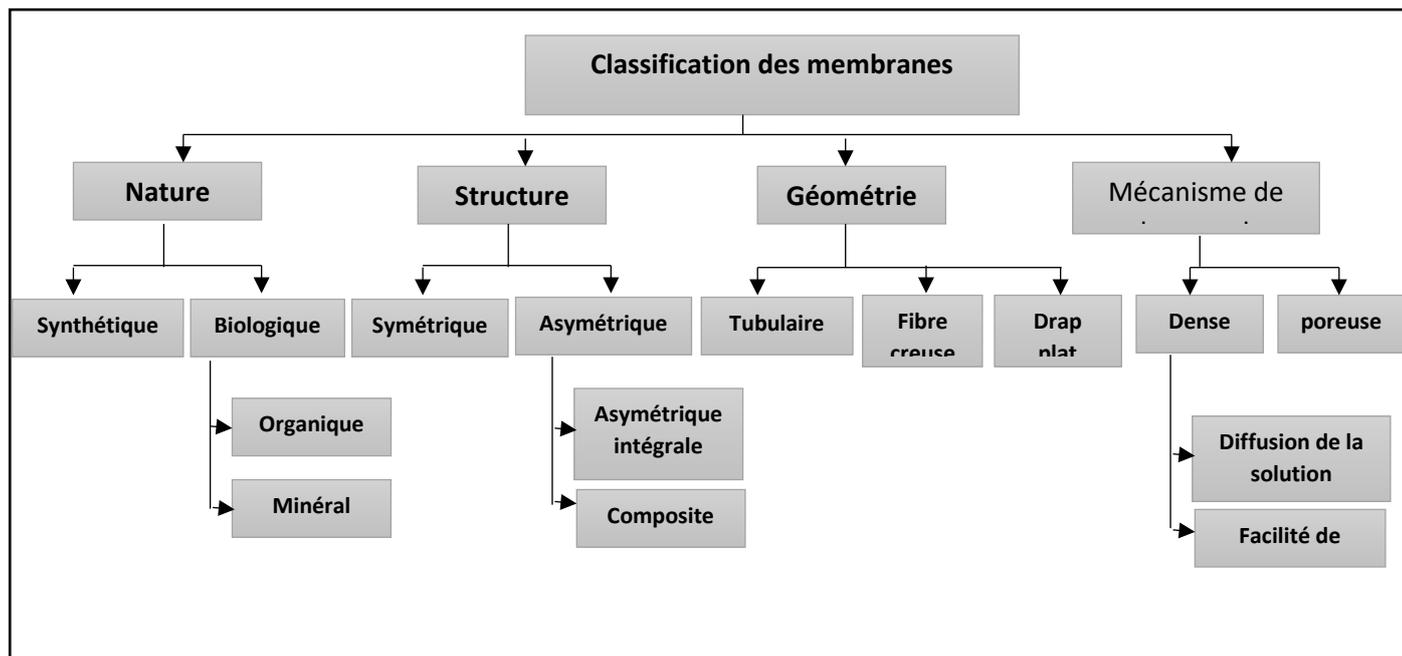


Figure II- 2: Classification des membranes

Nous nous concentrerons ici sur la présentation des procédés membranaires à gradient de pression, ceux-ci étant ceux que nous avons étudiés.

II.2. PROCÉDES MEMBRANAIRES A GRADIENT DE PRESSION :

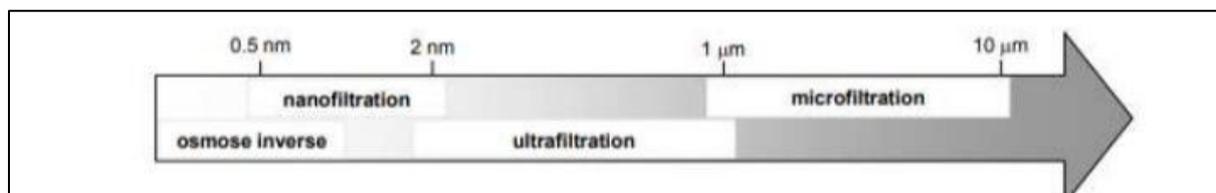


Figure II- 3: Classement des Opérations membranaires selon la taille moyenne de pores (rayon)

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

II.2.1. L'osmose inverse (OI) :

Le traitement de l'eau par osmose inverse est utilisé principalement dans la production d'eau potable et la désalinisation de l'eau. Cette technologie utilise des filtres très fins qui retiennent toutes les molécules en suspension, sauf les molécules d'eau, produisant ainsi une eau pure. Il est employé pour adoucir l'eau de mer très salée et pour traiter les eaux dures riches en calcaire afin de les rendre potables [23].

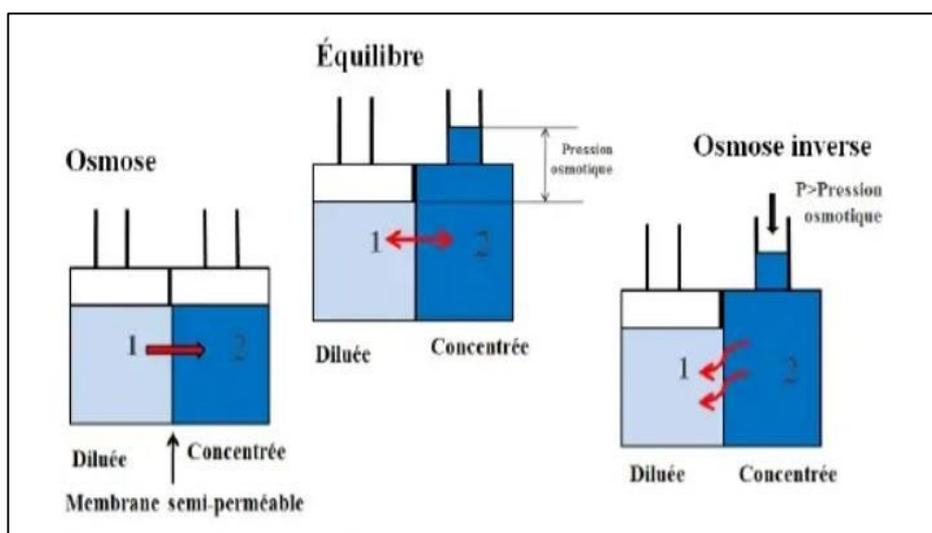


Figure II- 4: principe de l'osmose inverse.1

Principales applications de l'osmose inverse :

L'osmose inverse trouve de nombreuses applications variées. Ces applications incluent :[24]

- ❖ Traitement des eaux : dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, production de l'eau ultra pure (industries électronique, pharmaceutique ...).
- ❖ Extraction de protéines du lactosérum dans l'industrie laitière.
- ❖ Élimination de pesticides et d'herbicides.
- ❖ Concentration d'antibiotiques.

Les techniques présentées ont les avantages et les inconvénients suivants :

Tableau II- 1: les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse

Avantage	Inconvénient
-Opération à température ambiante Ce qui évite la dégradation des Molécules fragiles dans le domaine Agroalimentaire.	-Baisse de la perméabilité et modification de la sélectivité en cas De colmatage des membranes.
-Pas d'intervention de réactifs chimiques comme des agents D'extraction qui sont des sources De pollution.	-Sélectivité entre les espèces chimiques : « soluté » toujours Inférieure à 100 %.
- Consommation énergétique faible contrôle de la distillation pour le dessalement de l'eau.	-Durée de vie limitée des membranes : Soit par perte de résistance Mécanique soit par suite d'une mauvaise tenue aux réactifs utilisés pour le nettoyage.

II.2.2. Nano filtration (NF) :

La nano filtration, intermédiaire entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration, possède un seuil de coupure de 200 à 1000 Dalton et nécessite une pression de 5 à 25 bar. Avec des membranes moins compactes, elle offre des débits de perméat plus élevés à des pressions plus basses, réduisant ainsi la consommation énergétique. L'ultrafiltration, quant à elle, retient des particules fines telles que les colloïdes et les virus, avec des pores de 2 à 100 nanomètres, et est utilisée dans diverses applications industrielles, notamment le traitement des bains de peinture, des dégraissants, et la concentration des protéines du lactosérum.[4]

II.2.3. Ultrafiltration (UF) :

L'ultrafiltration utilise une membrane pour filtrer les solvants et les petites molécules tout en retenant les macromolécules et les particules colloïdales. Sous pression, les solvants et les petites molécules passent à travers la membrane par convection, tandis que les composés plus gros sont bloqués. Le seuil de coupure se situe entre (10^3) et (10^6) Dalton.[4]

II.2.4. Microfiltration (MF) :

La microfiltration est un procédé de séparation solide/liquide basé sur l'effet tamis, retenant les particules en suspension ou les bactéries de taille comprise entre 0,1 et 10 μm . Il permet de retenir les émulsions d'huile, les bactéries, les levures, les gros colloïdes et les gros pigments, avec une pression d'opération relativement basse entre 0,5 et 3 bars. Ses principales applications incluent la clarification des eaux, la séparation d'émulsions eau/huile, la débactérisation de solutions, la production d'eau potable (comme étape de prétraitement) et les bioréacteurs à membranes (BAM). [25]

II.3. Membrane utilisée dans l'industrie :

Nous allons maintenant discuter des types de filtration à gradient de pression utilisés dans le secteur industriel étudié :

II.3.1. Membrane de l'ultrafiltration UF :

L'ultrafiltration sépare les macromolécules et les particules colloïdales. Sous pression, les solvants et les solutés de faible masse molaire passent à travers la membrane par convection,



Figure II- 5: membrane de l'ultra filtration

tandis que les substances plus grosses comme les colloïdes, les protéines et les polymères sont retenues. [26]

Une partie de l'eau ultrafiltrée est utilisée pour les opérations de rétro-lavage afin de nettoyer les membranes en évitant toute contamination par des particules. Les cycles de rétro-lavage sont déclenchés toutes les 90 secondes et durent 45 secondes pour chaque ensemble de 2 modules. Une pompe de rétro-lavage puise l'eau du réservoir d'eau ultrafiltrée et la dirige en sens inverse à travers les membranes à une pression d'environ 2,0 bars, avec l'ajout de chlore à une concentration de 3 à 10 ppm. Les stations d'injection de produits chimiques comprennent un réservoir de stockage et deux pompes doseuses.

- **Nettoyages de Maintenance (NM) :**

Les procédures de nettoyage chimique sur site, y compris les nettoyages de maintenance, sont automatisées et programmées via un automate programmable pour une temporisation ajustable. Ils utilisent des réactifs tels que l'eau de Javel, la soude et l'acide à des concentrations inférieures à celles des nettoyages en place. Chaque cycle de nettoyage dure environ 40 minutes et comprend un lavage alcalin suivi d'un rinçage, puis un lavage acide suivi d'un rinçage. Tout le système fonctionne de manière autonome, sans intervention manuelle.



Figure II- 6: salle des produits Chimique

II.3.2 Système d'osmose inverse :

Son principe :

Après l'ultrafiltration, l'eau brute est stockée dans un réservoir et conditionnée pour prévenir la précipitation des sels en sursaturation, en ajoutant des produits chimiques tels que le sulfate de calcium et le fluorure de calcium. Ensuite, elle subit une microfiltration à travers des filtres à cartouches et est homogénéisée à l'aide d'un mélangeur statique. Enfin, une pompe haute pression en acier inoxydable augmente la pression de l'eau pour permettre son passage à travers les membranes d'osmose inverse.[27]



Figure II- 7: l'osmose inverse

Tableau II- 2: Eau osmosée à produire

Paramètres	Unité	Demande par Arcelor
Débit net	m ³ /h	2×35
TA	°F	0
TAC	°F	3/5
TH	°F	<0.3
Chlorure	Mg/L	<3
Ph	/	6,5-8,3

TDS	Mg/L	<8
Conductivité	$\mu\text{s}/\text{cm}$	<10
MES	Mg/L	<2

Poste de nettoyage :

Le prétraitement de l'eau avant l'osmose inverse vise à réduire le colmatage des membranes, prolonger leur durée de vie et améliorer la qualité de l'eau produite. Il comprend des méthodes physiques comme les filtres mécaniques et chimiques comme l'ajout d'inhibiteurs d'entartrage. Pour éviter l'accumulation de solutés près de la membrane, un flux d'eau continu est utilisé, similaire à une filtration tangentielle. Une turbine peut être utilisée pour récupérer une partie de l'énergie du retentât sous haute pression et réduire la consommation d'énergie. De nos jours, la plupart des usines d'osmose inverse adoptent un prétraitement conventionnel combinant des approches physiques et chimiques.[28]

II.4- Conclusion :

Tel que décrit précédemment, le complexe Sider El Hadjar joue un rôle stratégique et économique crucial dans le paysage industriel algérien.

La production continue de l'usine dépend fortement de l'utilisation abondante de l'eau, et le secteur clé pour assurer cette continuité est la zone EST de la division des fluides. Cette zone est chargée du traitement d'une quantité significative d'eau, comprenant notamment de l'eau brute, de l'eau industrielle et de l'eau déminéralisée.

***CHAPITRE III : PARTIE
PRATIQUE***

III.2- Contexte de l'étude :

III 2-1 Laboratoire d'analyses :

Au sein du laboratoire central d'El-Hadjar, divers types d'analyses sont effectués, regroupant des laboratoires spécialisés tels que celui des huiles, de spectroscopie, de matières premières et des eaux. Les détails concernant l'orientation et les analyses du laboratoire des eaux seront exposés dans le paragraphe suivant.

III.2.2. Laboratoire des huiles :

Son rôle est de faire les analyses physico-chimiques suivantes : point Eclair, indice de réfraction, sédiment, pH, teneur en eau, densité, acidité, viscosité à 40°C.

III.2.3. Laboratoire de matière première et des analyses spéciales :

Son rôle est de faire des analyses des matières suivantes : Acier à chaud, Laitier, Silices mesurant les paramètres suivants : Indice partiel, Indice totale, Etc.

III.2.4. Laboratoire de spectroscopie :

Son rôle est de faire des analyses spectrales pour les métaux De l'usine et pour les additifs.

III.2.5. Laboratoire des eaux :

Son rôle est de contrôler la qualité des eaux sidérurgique qui sert à la Production.

III.3- Paramètres physico-chimiques analysés :

Durant la période de formation pratique au sein du laboratoire du complexe, des tests physico-chimiques ont été réalisés sur des échantillons variés tels que l'eau brute, l'eau industrielle (usine à eau 1) , l'eau d'alimentation (la zone-Est) afin d'évaluer leur qualité.

Les paramètres sélectionnés pour ces analyses étaient principalement la teneur en acide titrable (TA), l'alcalinité totale (TAC), la dureté totale (TH), la conductivité, le pH, les chlorures

et les solides dissous totaux (TDS). La suite du document présente une description détaillée des paramètres mesurés au laboratoire d'analyse de l'eau.

III.3.1. Détermination de l'alcalinité :

(Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet).

III.3.1.1. Principe :

Ces analyses reposent sur la neutralisation d'un volume spécifique d'eau à l'aide d'un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré. Les mesures sont effectuées selon la méthode volumétrique au laboratoire central Sider .

III.3.1.2. Réactifs :

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

III.3.1.3. Mode opératoire :

a). Détermination de Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique:

- On prélève 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer.
- On ajoute 2 à 3 gouttes de phénolphthaléine.
- 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).

b). Détermination de titre alcalimétrique complet(TAC):

- On utilise l'échantillon traité précédemment, ou la prise d'essai primitif s'il ya 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.

III.3.1.4. 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 V2 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 V2, 0.5 exprime le TAC en °F

Pour convertir, ensuite, le TA et le TAC en milligrammes de CaCO₃ au litre, on a :

1°F= 10mg de CaCO₃ /L.



Figure III- 1: Dosage volumétrique du TA et TAC

III.3.2. DETERMINATION DU TITRE HYDROTIMETRIQUE TH .

III.3.2.1. Principe :

La détermination du TH est basée sur la formation de complexes entre les alcalino-terreux Et le sel disodique de l'acide éthylènediamine tétra acétique (EDTA) en présence de noir Eriochrome T en milieu tamponné.

III.3.2.2. Réactifs :

- Sel di sodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique : solution à 0.01 N ;
- Solution indicateur noir ériochrome T
- Solution tampon ammoniacale (pH 10).

III.3.2.3 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 (Ca) et magnésium (Mg) ;
- si la coloration est rose violet, nous déduisons une présence de calcium (Ca) et Magnésium (Mg) 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 (°F).

III.3.2.4 Expression des résultats :

V : volume de la solution d'EDTA lu à la burette et qui exprime le TH en °F. Pour convertir Le TH en milligrammes de CaCO₃ au litre, on a : 1°F= 10mg de CaCO₃ /L.

III.3.3 DOSAGE DU TITRE CALCIQUE :

III.3.3.1 Principe :

La détermination du Tca 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

III.3.3.2 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).

III.3.3.3 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 Tca⁺⁺ exprimé en degré français (°F).

III.3.3.4 Expression des résultats :

V : volume de la solution d'EDTA lu à la burette et qui exprime le Tca⁺⁺ en °F. Pour Convertir le TH en milligrammes de CaCO₃ au litre, on a : **1°F= 10mg de CaCO₃ /L.**



Figure III- 2: Dosage volumétrique du Tca++

III.3.4 DOSAGE DES CHLORURES

Elle se fait à l'aide d'un spectrophotomètre qui est un appareil qui permet de mesurer l'absorbance d'une solution homogène et d'une longueur d'onde donnée sur une région spectrale donnée [29].

III.3.4.1 Principe :

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

III.3.4.2 Réactifs :

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

III.3.4.3 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 Etudié ; 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.

III.3.4.4 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 (Cl^-)



Figure III- 3: dosage volumétrique de Chlorure

III.3.5 DETERMINATION DU PH.

Elle est réalisée par un pH-mètre : le pH-mètre est un appareil électronique permettant de Donner la mesure du pH d'une solution.

III.3.5.1 Principe :

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

III.3.5.2 Le PH Mètre :

Le pH mètre est constitué d'une électrode que l'on plonge dans la solution dont on veut Connaitre 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 Etre régulièrement étalonnée pour que les mesures soient fiables.

III.3.5.3 Expression des résultats :

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



Figure III- 4: Couple pH- mètre/Conductimètre

III.3.6 DETERMINATION DE LA CONDUCTIVITE

III.3.6.1 Principe :

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

III.3.6.2 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.

III.3.6.3 Expression des résultats :

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



Figure III- 5: Conductimètre « E587 »

III.3.7 DETERMINATION DES MATIERES EN SUSPENSION

Elle se fait à l'aide d'un spectrophotomètre qui est un appareil qui permet de mesurer l'absorbance d'une solution homogène et d'une longueur d'onde donnée sur une région spectrale donnée [29]

III.3.7.1 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.

III.3.7.2 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.

III.3.7.3 Expression des résultats :

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



Figure III- 6: Spectrophotomètre « H Dr 5000 »

III.10 DÉTERMINATION DE LA TURBIDITÉ.

Elle est effectuée grâce à un turbidimètre : c'est un appareil permettant la détermination de la Turbidité. La mesure est effectuée pour connaître le degré de la pollution physique de l'eau [29].

III.10.1 Principe :

La turbidimétrie fait partie de la photométrie ; elle repose sur la comparaison de la Lumière diffusée par les matières en suspension, détectée à 90° à celle émanant d'une solution Standard de turbidité connue.

III.10.2 Mode opératoire :

- Etalonner l'appareil avant de mesurer l'échantillon d'eau ;
- Mesurer la turbidité de l'échantillon ; l'unité usuelle est le NTU (unité de turbidité Néphélométrique)

III.10.3 Expression des résultats :

Les valeurs lues sur l'écran de l'appareil expriment la valeur de la turbidité en NTU.



Figure III- 7: Turbidimètre AL450T-IR

III.4.1. Le prélèvement :

- Les échantillons d'eau brute, provenant du barrage de CHAFFIA, sont collectés à la source de l'usine de traitement dans des flacons en plastique de 1,5 L.
- De même, l'eau décarbonatée est prélevée dans des flacons en plastique de 1,5 L à partir de sa bêche respective. Une fois prélevés, les flacons sont hermétiquement fermés pour éviter toute évaporation et transportés au laboratoire dans une glacière.
- L'eau d'alimentation, destinée à l'adoucisseur et alimentant la chaudière, est échantillonnée depuis l'adoucisseur. En parallèle, l'eau de chaudière est prélevée dans des flacons appropriés à partir de la purge continue, située à proximité du ballon inférieur de la chaudière.
- Un échantillon d'eau brute et d'eau traitée est également acheminé de l'usine à eau N°1 vers le laboratoire d'analyses.

III.4.2. Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau brute et industrielles :

Les paramètres physico-chimiques examinés pour l'analyse de l'eau brute et de l'eau industrielle et l'eau d'alimentation sont présentés dans les figures suivantes pour observer leur évolution au fil du temps.

III.4.2.1. Représentation graphique des paramètres :

✓ Variation du Titre Alcalimétrique (TA) :

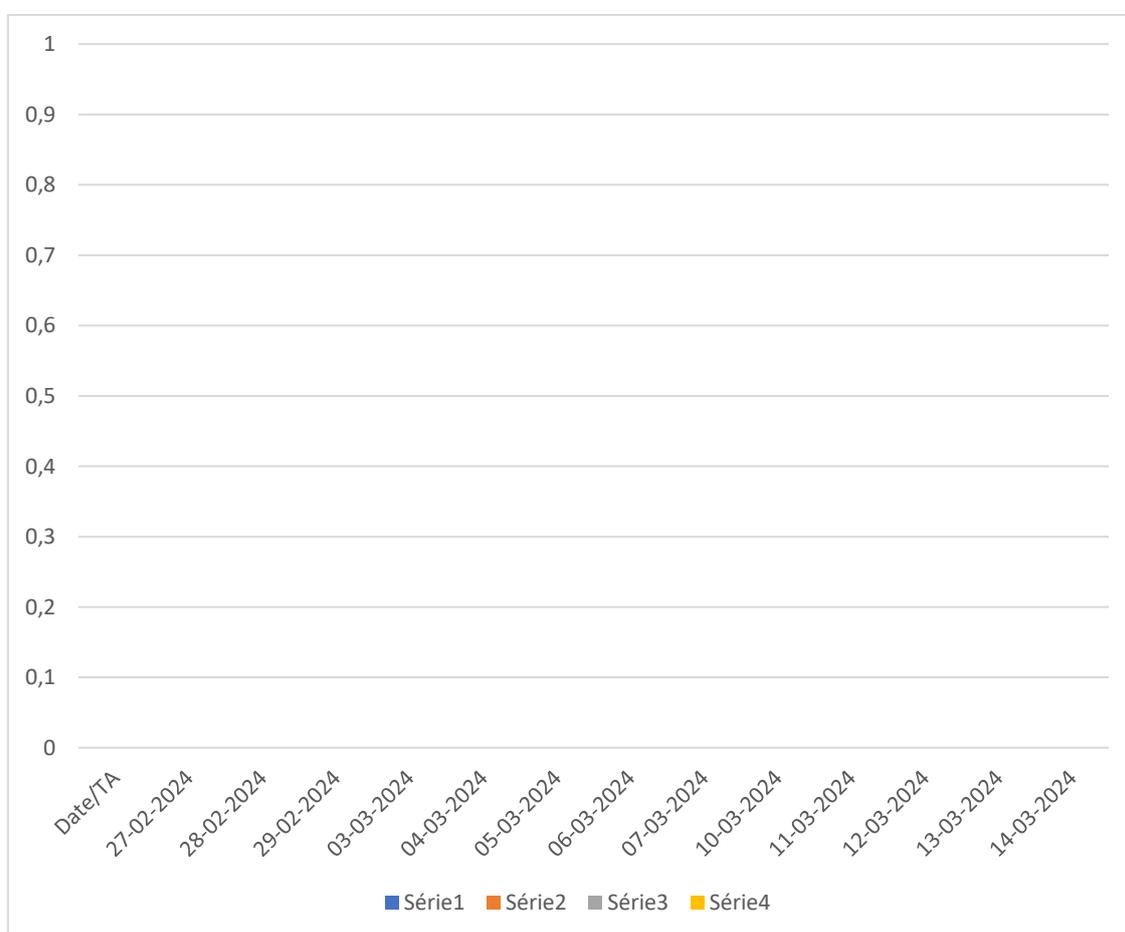


Figure III- 8: Variation du titre alcalimétrie simple des trois eaux (brute et industrielle et l'eau d'alimentation)

D'après les résultats obtenus au-dessus, on observe que le TA est nul dans l'eau brute (EB) et l'eau industrielle (EI) et l'eau d'alimentation (eau osmosée) ce qui explique que les alcalins libres (OH) et les carbonates (CO₂) existent dans l'eau en quantité négligeables.

✓ **Variation du Titre Alcalimétrique Complet (TAC) :**

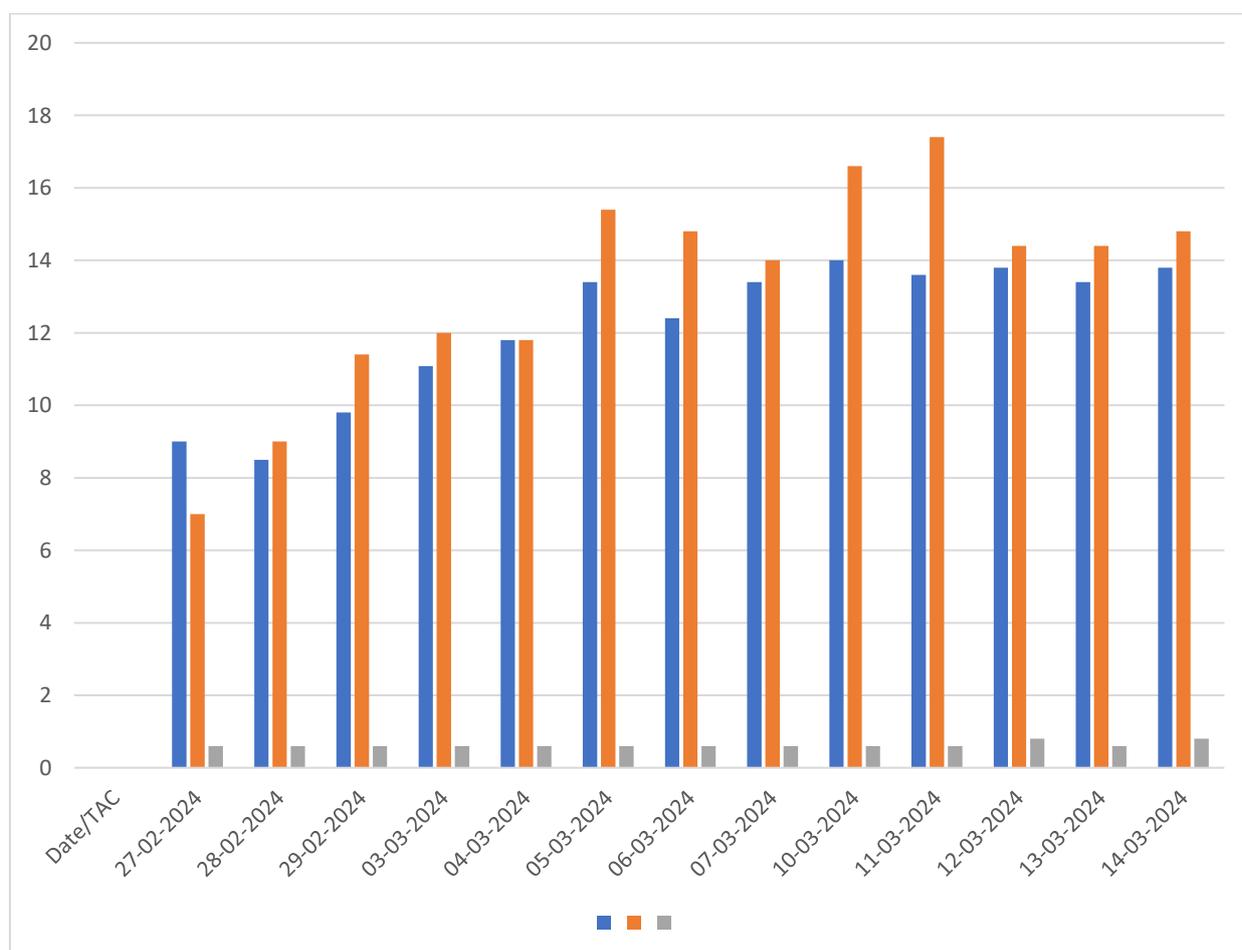


Figure III- 9: Variation du titre alcalimétrie complet des trois eaux (brute et industrielle et l'eau d'alimentation)

Le graphe montre qu'il y a une variation remarquable des valeurs de TAC de l'eau brute et l'eau traitée de la zone - est, dans la période entre le 27/02/2024 et le 14/03/2024 le TAC(EB) varient de 8,5 à 13,8, tandis que pour l'usine à eau 1, elles varient de 7 à 17,4.

La zone -est reste stable avec des valeurs de 0,6 ou 0,8.

Ces résultats suggèrent que la stabilité de TAC dans la zone est due aux traitements avancés des eaux brutes tel que l'osmose inverse, ultrafiltration.

L'augmentation des valeurs de TAC dans l'eau de l'usine à eau 1 peut indiquer une concentration accrue de substances alcalines, vu le traitement achevé au stade de filtration à sable.

✓ Variation du titre Hydrotimétrique TH :

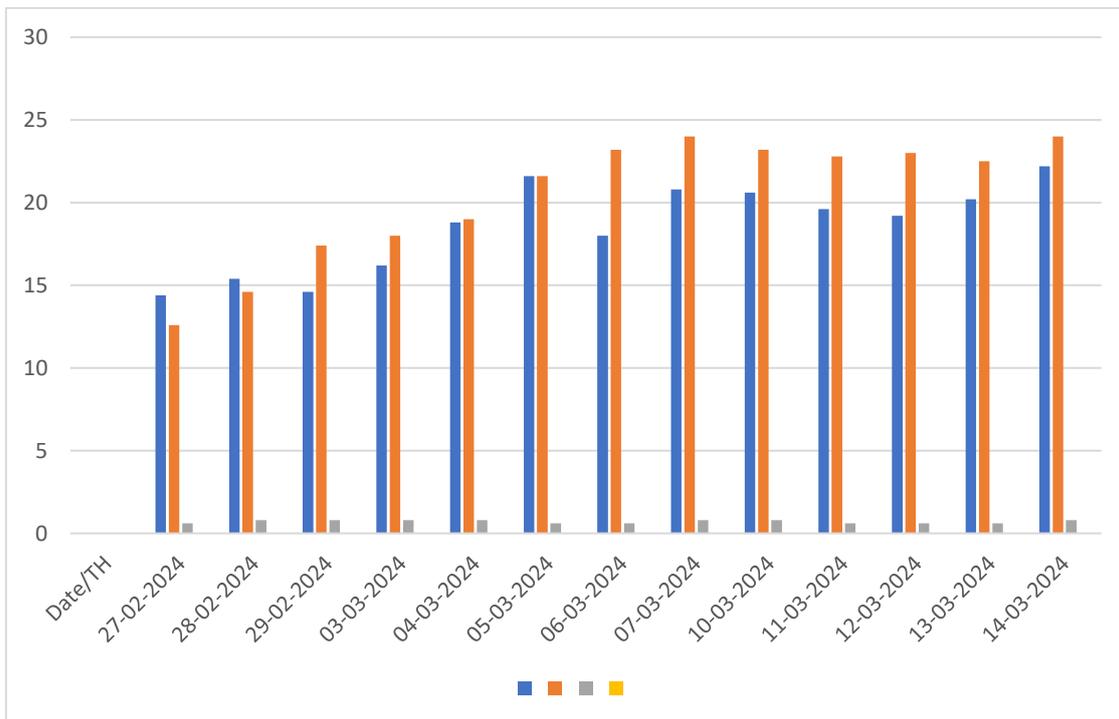


Figure III- 10: Variation de TH des trois eaux (brute et industrielle et l’eau d’alimentation).

Dans les eaux étudiées, la dureté totale allant de 0 à 24 °F pour qui serait liée à sa nature en particulier à sa composition en magnésium et en calcium.

Les profils de la composition du TH des EB, EI et EO montrent que le TH de l’eau brute et l’eau industrielle (usine a eau 1) est élevé, comprise entre 13 à 23 °F, Donc l’eau brute est dure, cela ne présente aucun risque pour la santé mais peut entrainer des désagréments tels que l’entartrage des tuyauteries et des appareils électroménagers, ou encore la nécessité d’utiliser davantage de produits détergents pour le nettoyage.

Toutefois, contrairement à l’eau brute, les valeurs de la dureté de l’eau osmosée, (zone-est) sont proches à 0, ce qui signifie qu’il n’y’a pas une accumulation trop importante des ions carbonates de calcium et de magnésium dans l’eau osmosée, donc ces ions sont retenus totalement par la membrane d’osmoseur et par la suite entrainées dans les rejets. Dans ce cas, l’eau osmosée est très douce. La dureté de l’eau osmosée reste constante quelle que soit l’échantillon analysée. Suite aux résultats obtenus, il apparait que les membranes d’osmoseur empêchent le passage des ions CaCO ; et MgCO.

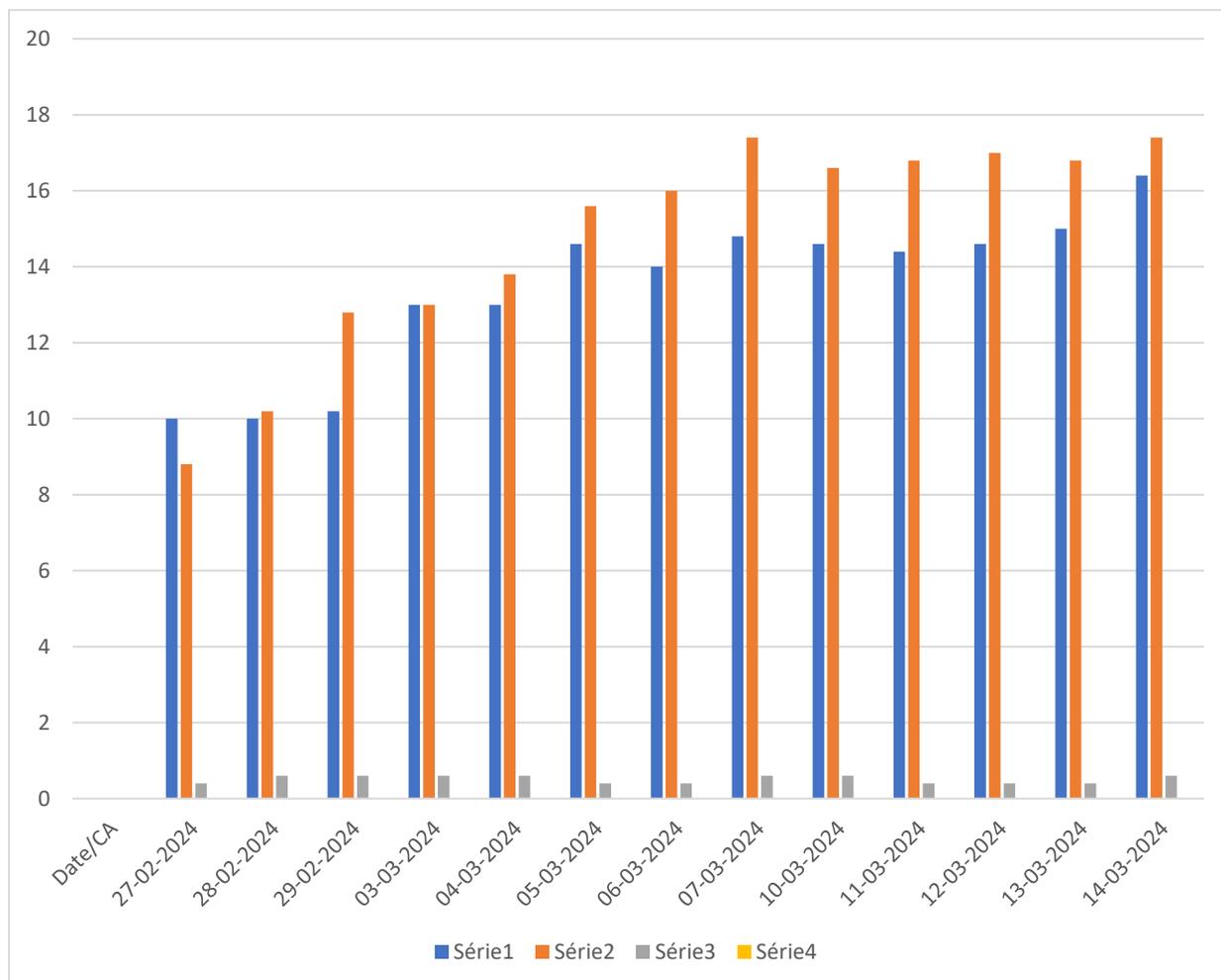
✓ Variation de la dureté calcique Ca^{2+} :

Figure III- 11: Variation de la dureté calcique Ca^{2+} des trois eaux (brute et industrielle et l'eau d'alimentation)

On remarque que la teneur en calcium des eaux brute et industrielle (usine a eau 1) est considérable, variant entre 7 et 17 mg/L. La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles, soit la dissolution du carbonate de calcium (CaCO_3), ou la dissolution des gypses (CaSO_4).

Par contre, pour l'eau osmosée, les résultats présentent des teneurs en calcium très faibles (inférieur à 0,5 mg /L, ce qui indique que ces eaux sont moins influencées par la dissolution du carbonate de calcium et des gypses.

✓ Variation des Chlorures Cl :

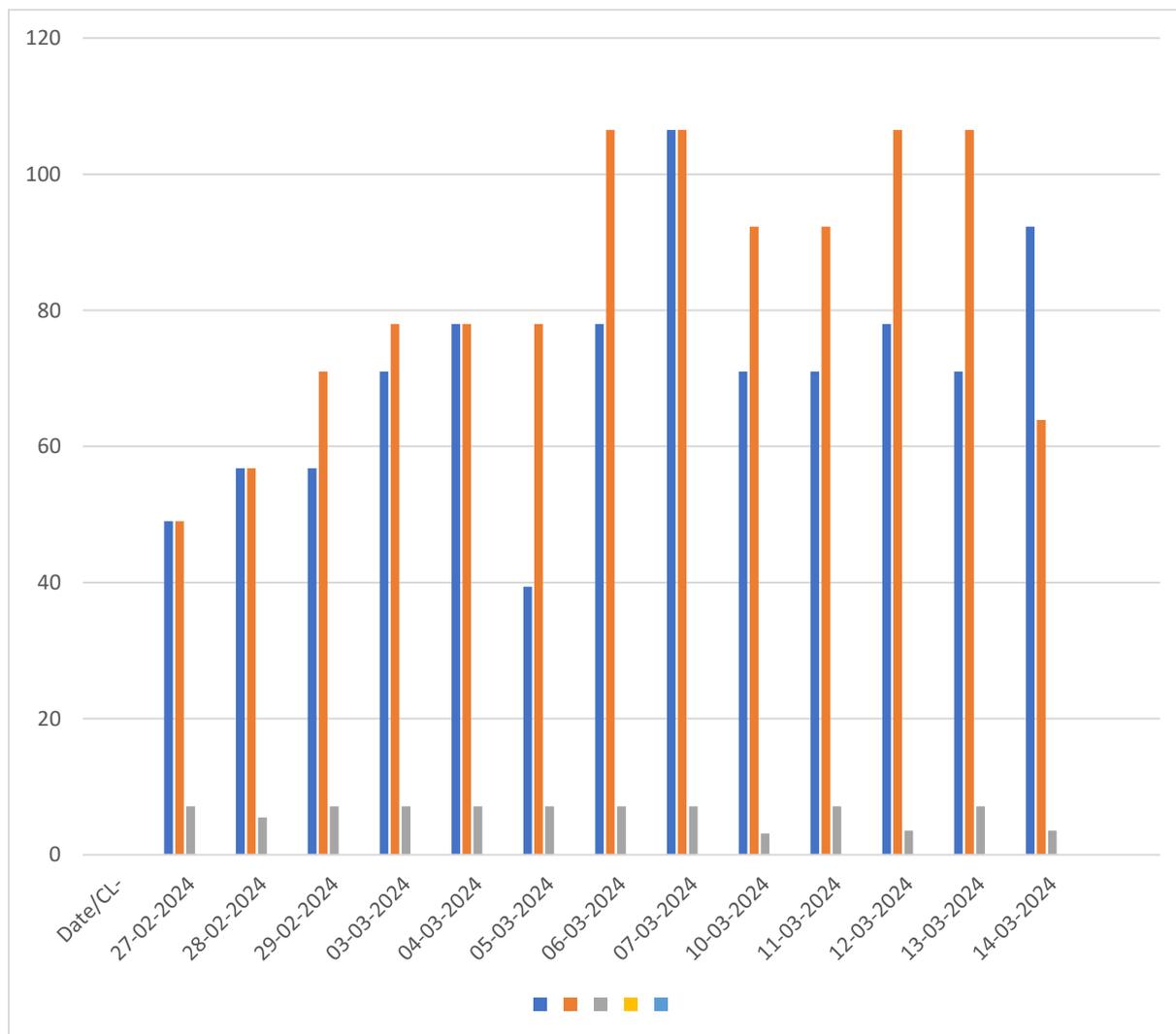


Figure III- 12: Variation des chlorures dans l’eau brute, industrielle et l’eau d’alimentation.

Les teneurs en ion chlore de l’eau osmosée est constantes de l’ordre 3,55 mg/L. Ces résultats peuvent confirmer l’activité optimale des membranes. En revanche, les teneurs en ion chlore est de l’ordre de 40 mg/l. à 110 mg/L pour l’eau brute et industrielle respectivement, Selon les normes algérienne, la concentration en cet élément ne devrait pas dépasser les 250 mg/L, donc la qualité de l’eau étudiée est acceptable.

✓ Variation du pH :

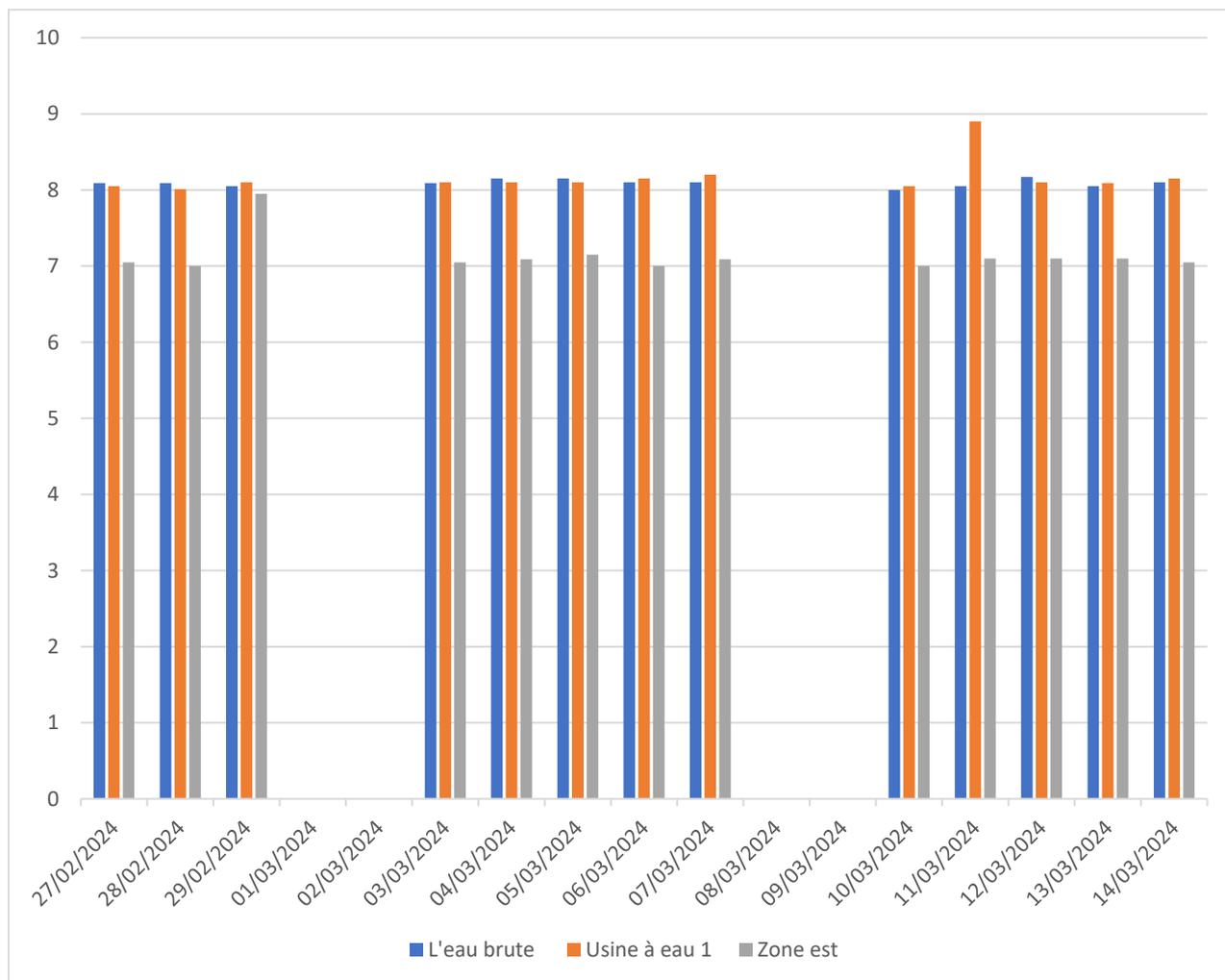


Figure III- 13: variation des PH dans l'eau brute, l'eau industrielle et l'eau d'alimentation

Ces résultats montrent que le pH de l'eau industrielle est supérieur à celui de l'eau osmosée et l'eau brute.

Les valeurs du potentiel Hydrogène se situent entre 8,1 et 8,5 dans l'eau brute, cette variation est expliquée par une élévation de température qui engendre une augmentation du CO_2 , dissous qui va provoquer une hausse de pH, pour les EO et EI, sont PH est compris entre 8 et 9, car les membranes d'Osmose Inverse retiennent les sels minéraux et les ions hydrogénocarbonate.

✓ **Variation de la température :**

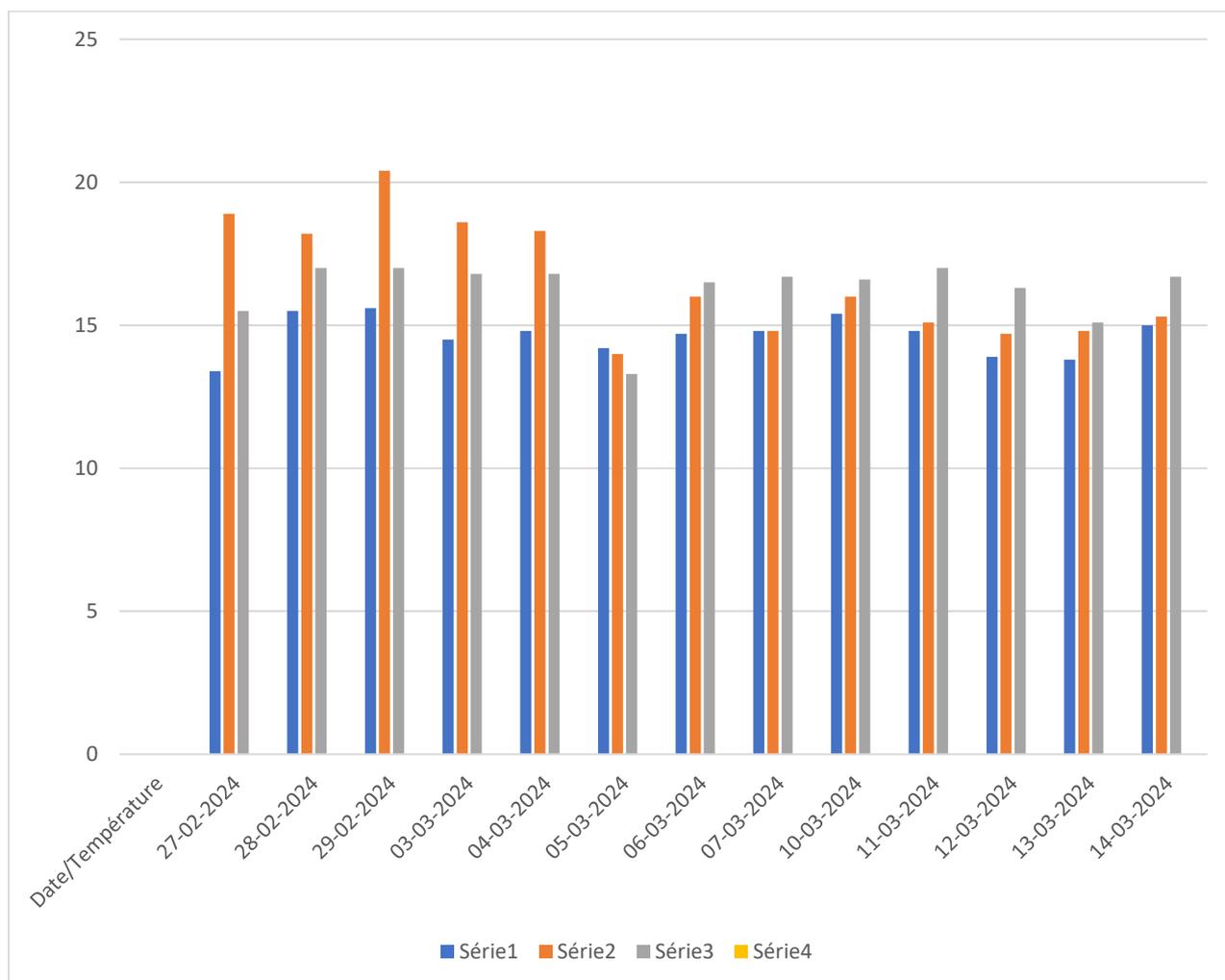


Figure III- 14: variation des températures dans l'eau brute, l'eau industrielle et l'eau d'alimentation.

La température a une grande influence sur les propriétés physico-chimiques, d'eau. Des variations importantes de la température pendant la période 27/02 au 14/03/2024, qui fluctuent entre une valeur minimale de 14,5 °C et une valeur maximale de 20 °C ; cette variation est due aux conditions de traitement (coagulation, floculation).

✓ Variation de la conductivité :

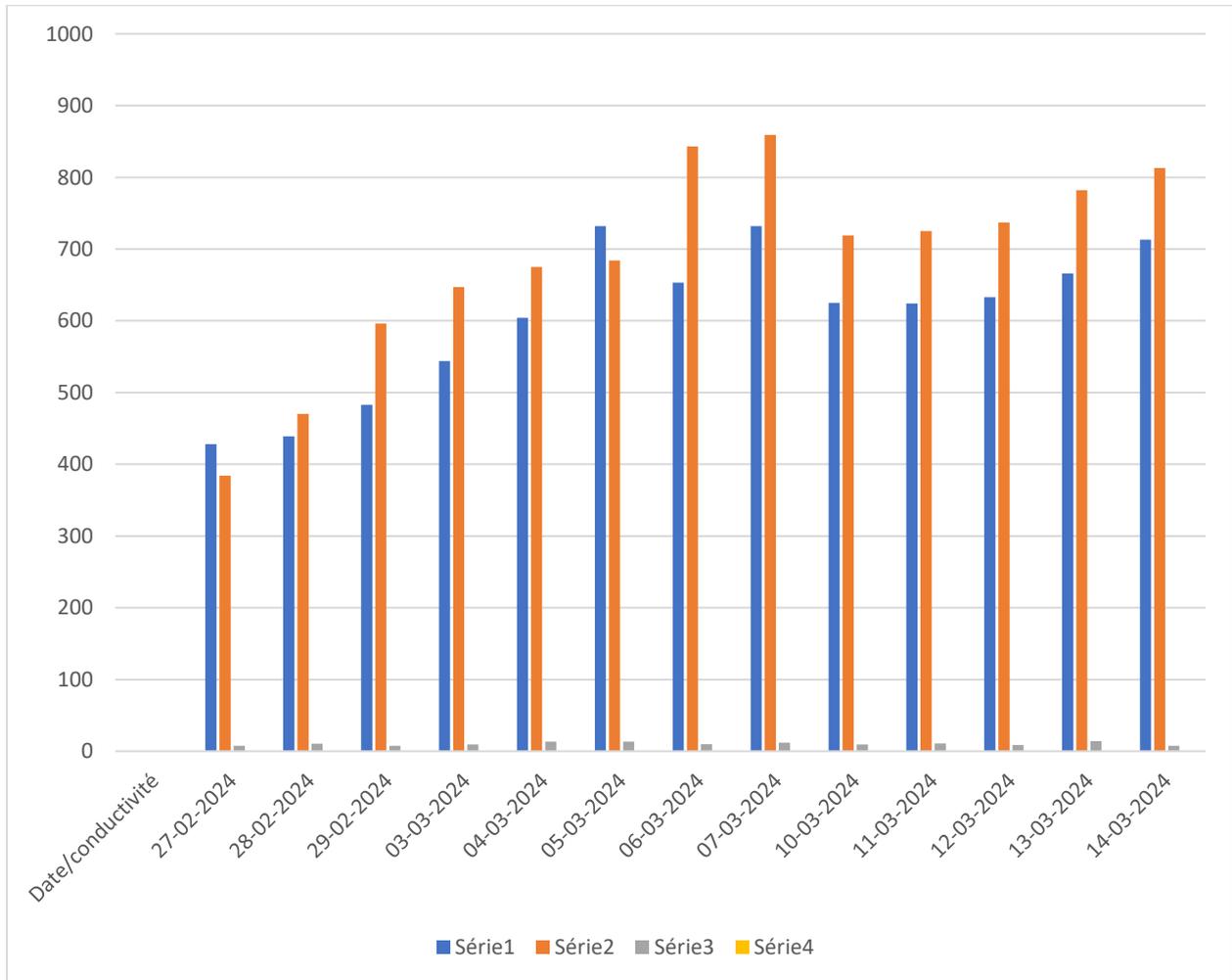


Figure III- 15: variation des conductivité dans l'eau brute, l'eau industrielle et l'eau d'alimentation

Les valeurs enregistrées pendant les analyses de l'eau brute et l'eau industrielle sont importantes et semblent très élevés ; qui sont de l'ordre de 380 à 850 $\mu\text{S}/\text{cm}$; ce qui reflète la forte minéralisation de l'eau brute et de l'eau industrielle.

Par comparaison à celui de l'eau osmosée (zone-est) qui est de l'ordre de 5,60 à 10,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ceci confirme l'efficacité de traitement osmosée ainsi que leur rôle primordial d'obtention d'eau déminéralisée.

✓ **Variation de la Turbidité**

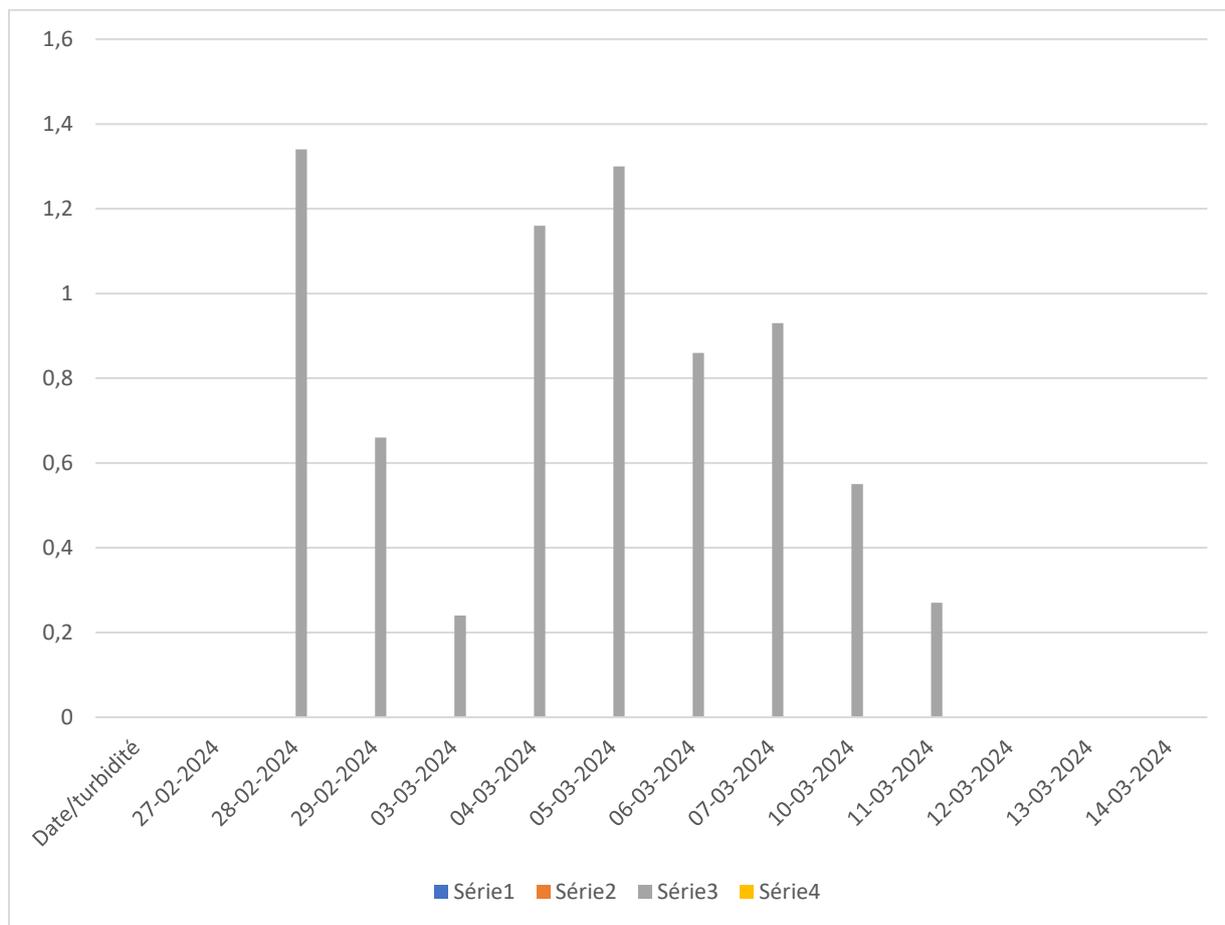


Figure III- 16:variation de la Turbidité dans l’eau brute, l’eau industrielle et l’eau d’alimentation

Pendant la période de stage, les tests de La turbidité de l’eau brute et l’eau industrielle ne sont pas effectuées.

La turbidité qui varie entre 0, 21-1,38 dans l’eau d’alimentation, peut être due à des problèmes de filtration, à la présence de contaminants dans l’eau brute ou à des défauts dans le processus d’ultra filtration suite a une eau surchargées de MES (conditions climatiques) . Il est crucial d’identifier la cause pour prendre des mesures correctives et assurer la qualité de l’eau.

III.6- Conclusion :

D'après les résultats obtenus pour les paramètres physico chimiques des eaux traitées, on remarque :

Le pH de l'eau osmosée, l'eau brute et de l'eau industrielle sont légèrement basique, en raison de sa nature propre., après traitement chimique par les amines et les phosphates. Ces substances permettent de maintenir un pH approprié, assurant ainsi un fonctionnement durable des installations en évitant les risques de corrosion. En effet, une eau trop acide peut endommager les parois des chaudières, tandis qu'une eau trop alcaline peut provoquer la formation de mousse.

L'eau brute et l'eau industrielle présentent une conductivité plus élevée par rapport à l'eau osmosée, en raison de leur nature et de leur composition minérale.

Après divers traitements, une diminution de la conductivité de EO est observée. Cela est dû à la réduction de la charge ionique, conformément aux normes.

L'eau brute et l'eau industrielle sont très dures, nécessitant un traitement antitartre pour prévenir les risques d'entartrage.

L'eau brute et l'eau osmosée ont un titre alcalimétrique (TA) nul, ce qui est dû à l'absence des ions OH^- et CO_3^{2-} . Ces valeurs indiquent que le titre alcalimétrique complet (TAC) est égal à la teneur en bicarbonates (HCO_3^-). La teneur en ions chlorure (Cl^-) dans les eaux brutes est principalement associée à celle du sodium. Selon les normes algériennes, la concentration en chlorure ne doit pas dépasser 250 mg/L.

CONCLUSION GENERALE
ET PERSPECTIVES

Au cours de ces travaux, qui ont fait l'objet de cette thèse, l'accent a été mis sur la comparaison de la qualité de l'eau de la zone -est du complexe sidérurgique d'Annaba Al-Hajar et de l'usine à eau n°1.

A cet effet, l'analyse de différents paramètres physiques et chimiques est suivie L'eau brute et industrielle ainsi que l'alimentation ont été apportées au contrôle. Puis de l'eau de La zone industrielle est transportée vers la zone -est du complexe pour y être transformée et traitée par plusieurs procédés, Membrane d'ultrafiltration (UF) puis par osmose inverse (RO) pour obtenir de l'eau. Déminéralisée qui sert à alimenter la chaudière de la zone-est.

Cette eau présente des caractéristiques capable d'éviter les problèmes de colmatage ou bouchage, précipitations des sels, des problèmes liés à la durée de vie de membrane, et des problèmes dus au compactage de la membrane avec le temps ce qui entraîne une baisse de perméabilité .

Quant à l'Usine N°1, la qualité de traitement est satisfaisante car son utilisation est limitée uniquement pour le nettoyage et les usages simples.

Enfin, on peut dire que cette formation de courte durée a été réalisée à SIDER EL HADJAR, était très bénéfiques ; vue les capacités matériels et humaines existante dans le complexe, cette étude peut être suivie par la réalisation d'autres procédés de traitement qui existe sur site mais elle n'est pas fonctionnelle malgré son importance d'améliorer la qualité d'eau traitée

Ceci est cause par manque de compétence capable a gérer ce type d'unité

Bibliographie

[1] : Benkaddour.(Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Cheliff (Algérie)). Thèse Hal science Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem (Mostaganem, Algérie) 2018. Français.

[2] : KLECHE Meriem.(Utilisation des systèmes biologiques dans l'épuration des eaux usées cas de la région d'Annaba). Thèses en vue de L'obtention D'un Diplôme de Doctorat, Université Badji Mokhtar-Annaba 2012-2013.

[3] : Bensaid Marwa.(Réponses d'une macrophyte épuratrice des eaux usées : Typha latifolia soumise à un stress métallique).Thèses en vue de L'obtention D'un Diplôme de Doctorat, Université Badji Mokhtar-Annaba 2017-2018

[4] : KEZZOULA Chahra.(SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX DE LA ZONE-EST DU COMPLEXE SIDERURGIQUE D'EL-HADJAR). Mémoire fin d'études département génie des procédés, univ Annaba 2018.

[5] : Document technique (zone fluide) .

[6] : Abadie la division fluide, Rapport de stage département sciences et techniques universitaire Badji Mokhtar Annaba 2017.

[7] : Documents technique à eau (fluide) historique du complexe sidérurgiques El Hadjar .

[8] : Documents technique (Zone fluide) paramètres physico-chimiques des eaux brute et industriels.

[9] : l'environnement. Technique de l'ingénieur. Volume G1210.

[10] : Aouaichia Abir (Etude comparative entre l'adoucissement par osmose inverse et par résines des eaux destinées à l'alimentation des chaudières- Complexe SIDER El Hadjar) Mémoire de master II Université Annaba 2017 – 2018

[11] : Z. Bouzelifa et S. Medjani. , Analyse et contrôle de la qualité de l'eau adoucie de refroidissement de l'ACO1 (MittalSteel) ». Mémoire de fin d'études. Département génie des procédés, Université Badji Mokhtar-Annaba, 2005.

- [12] : Mémento technique de l'eau. Processus élémentaire du génie physico-chimique en traitement de l'eau. Tome 1, 10^{ème} édition, Dégrèvement, 2005, p-185 .
- [13] : Sabrina BOUZIANE (Analyses et suivie du comportement des eaux des circuits de refroidissement du Complexe Sidérurgique d'El-Hadjar). Mémoire fin d'études département génie des procédés, Université Badji Mokhtar Annaba 2018
- [14] : A. Bousnobra et F. Boudib, Influence de la qualité d'eau sur les circuits de refroidissement au niveau de l'ACO₂. Mémoire de fin d'études. Département de chimie Université Badji Mokhtar-Annaba, 2000 .
- [15] : Bouchenak Lyes(LAVAGE DES GAZ PAR ABSORPTION AU NIVEAU DE L'UNITE FOUR DU COMPLEXE SIDER EL HADJAR) Mémoire fin d'études département génie des procédés, univ Badji Mokhtar Annaba 2019.
- [16] : <https://fr.scribd.com/document/265525310/Chaudieres-a-Vapeur-a-Combustible>.
- [17] : Kouchari Adem ,Faidi Belkacem (Calcul du rendement d'une chaudière à vapeur à circulation Naturelle – Sone gaz, SPE) UNIVERSITE Abderrahmane MIRA BEJAIA génie mécanique. 2019-2020.
- [18] : Deghal Née Cheridi Amina Lyria, « Etude numérique du transitoire accidentel D'une chaudière industrielle par le Code RELAP5/MODE3.2 », Thèse de Doctorat, Université Constantine 1, 2013.
- [19] Alleau, 13-9-2009, extrait « chaudières à vapeur à combustible » ;
- [20] : Mémento technique de l'eau, « quelles eaux à traiter ? pourquoi ? Tome 1 » et « traitement Et conditionnement des eaux industrielles. Tome 2 », 10^{ème} édition, Dégrèvement, 2005 PP-79-81 ; PP-1599-1601.
- [21] : G. Crini and P.-M. Badot, Traitement et épuration des eaux industrielles polluées : Procédés Membranaires, bio adsorption et oxydation chimique. Presses Univ. Franche-Comté, 2007 .

[22] : V. L. Bassani, Valorisation de formes galéniques végétales des alcoolisations et concentration de solutions extractives sur membrane d'osmose inverse, PhD Thesis, Doctoral Thesis, Faculté de Pharmacie : Montpellier, 1990.

[23] : <https://www.franceenvironnement.com/sous-rubrique/traitement-des-eaux-par-osmose-inverse>.

[24] : SAGNE, Camille. « Etude des mécanismes de transfert de molécules organiques en osmose inverse. Application au recyclage des condensats issus de la concentration des vinasses de distilleries », Thèse de doctorat en Génie des Procédés, Université de Montpellier (2008).

[25] : Boulmerka Kawter « Aissaoui Khaoula (Prospection des performances des procédés d'ultrafiltration et d'osmose inverse dans le traitement de finition des eaux industrielles de SIDER ANNABA : étude analytique) mémoire fin d'études département génie des procédés, Université Badji Mokhtar Annaba 2020/2021.

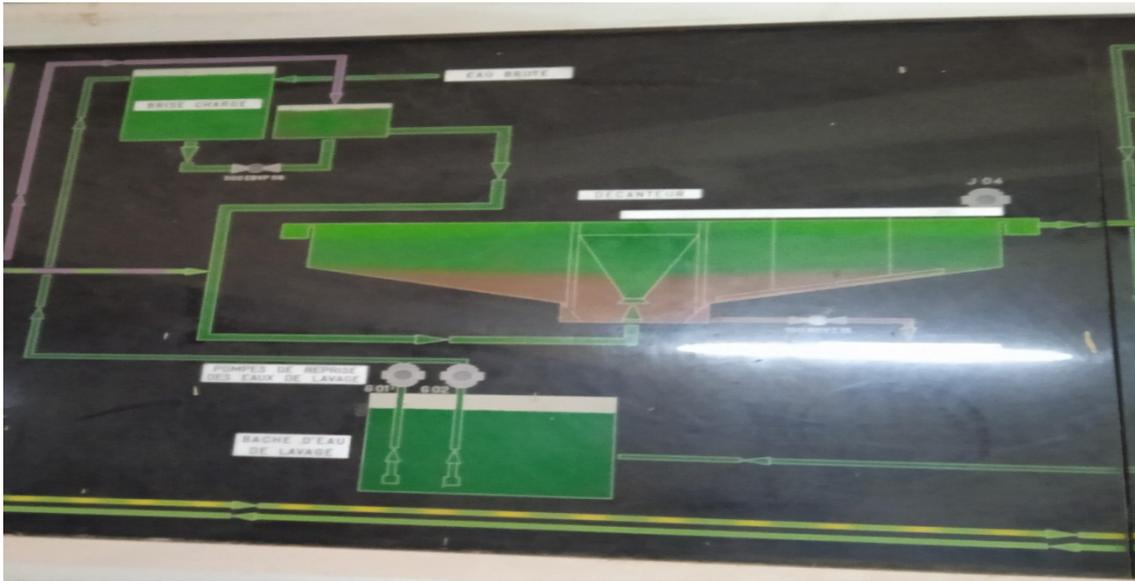
[26] : K. Wucherpennig, "Possibilités d'utilisation de processus membranaires dans l'industrie Des boissons (osmose inverse, ultrafiltration, électrodialyse)," Bulletin, 1980

[27] : BENALIOUCHE KHAOULA .(SUIVI DE LA QUALITE DE L'EAU POUR L'ALIMENTATION DE LA CHAUDIERE DE LA ZONE-EST DU COMPLEXE SIDERURGIQUE D'EL-HADJAR). Mémoire de fin département génie des

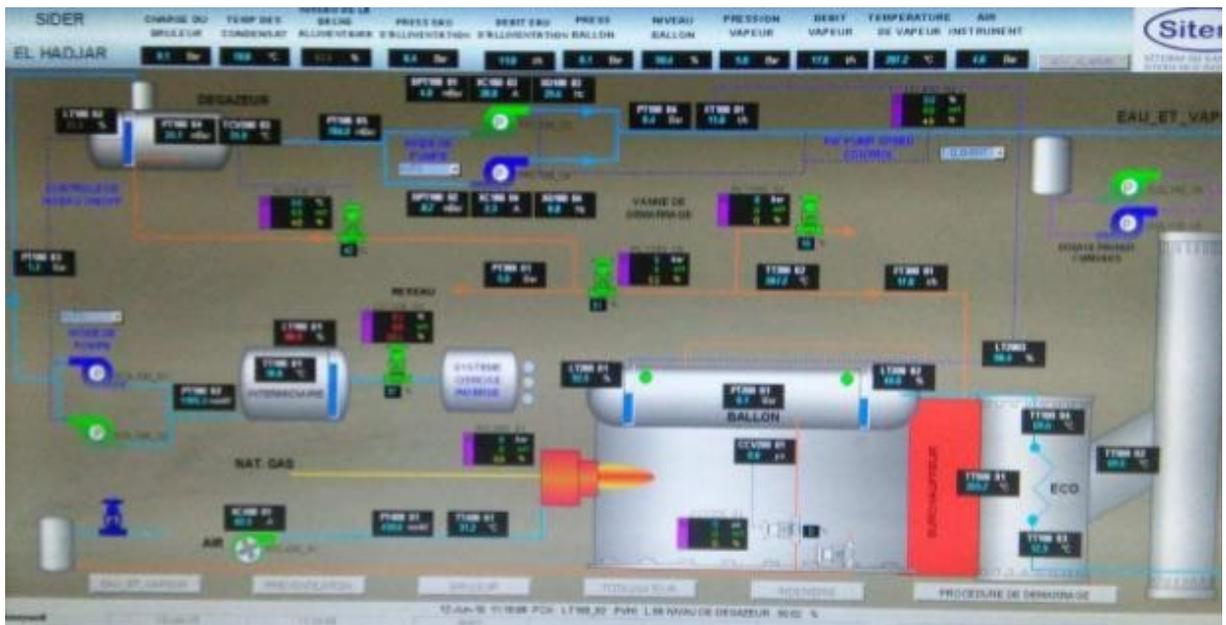
[28] F.TAKABAIT « Traitement de l'Eau de Forage par Osmose Inverse au Niveau du Complexe Agroalimentaire Cevital ». Mémoire de fin d'études. Département de chimie, Université ABDERRAHMANE.MIRA -DIALLO Sal.

[29] : F.MORAN « Chauffage climatisation installation sanitaire et traitement des eaux », Ed Parisienne, 2002.

Annexes



Annexe 01 : Salle de contrôle



Annexe 02 : de bord du fonctionnement de la chaudière au niveau de la zone EstComplexe
EL HADJAR- Annaba