

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY

جامعة باجي مختار - عنابة-



Faculté : Science et technologie  
Département : Génie des procédés  
Domaine : Sciences et techniques  
Filière : Génie des procédés  
Spécialité : Génie chimiques

**Mémoire**  
**Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master**  
**Thème:**

**Caractéristiques physico-chimiques des eaux avant et après l'utilisation et production dans l'industrie.**  
**CAS: Complexe sidérurgique El-Hadjar.**

**Présenté par :** *Doumir Khadidja*  
*Babah Weam*

**Encadrant :** Chelghoum Nadjet      *MCB*      *Université Badji Mokhtar-Annaba*

**Jury de Soutenance :**

<i>Ghodbane Ilhem</i>	<i>MCA</i>	<i>Univ Annaba</i>	<i>Président</i>
<i>Chelghoum Nadjet</i>	<i>MCB</i>	<i>Univ Annaba</i>	<i>Encadrant</i>
<i>Zabat Nassira</i>	<i>Pr</i>	<i>Univ Annaba</i>	<i>Examineur</i>

**Année Universitaire : 2022/2023**



## REMERCIEMENTS

*En premier lieu, nous remercions Allah, qui nous a accordé la patience et la volonté pour achever ce travail.*

*Nous tenons à remercier vivement notre encadrant Mme CHELGHOUM NADJET, qui nous a fait l'honneur d'assurer la direction de ce travail, pour son aide et sa grande disponibilité tout au long de la préparation de ce mémoire.*

*Nous remercions les membres du jury, pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nos vifs remerciements vont au Complexe Sidérurgique d'El-Hadjar de la ville d'Annaba et à l'Université Badji Mokhtar de Annaba d'avoir permis le déroulement de notre stage, sans oublier tous les responsables de ces secteurs.*

*De manière plus proche, Nous tenons à remercier tous les membres du laboratoire Central et de la zone ACO1 et la zone Ouest du Complexe Sidérurgique d'avoir accueilli et à tous ceux qui ont permis de réaliser l'étude pratique et expérimentale ; un grand merci.*

*Nous remercions tous les enseignants du département de Génie des Procédés qui ont contribué à notre formation.*

*Nous tenons à remercier ceux qui ont encouragé et ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## DEDECACE

*Je dédie ce mémoire de fin de cycle :*

*Aux deux personnes que j'aime le plus dans la vie, ma mère et mon père, Que Dieu les protège et les réserve une longue vie pleine de bonheur et de santé.*

*A mes sœurs Fatima Zohra et Dhouha.*

*A mes frères Abd Elrahmaine et Mohamed Choib.*

*Ainsi qu'à mes amis et spécialement mon binôme Weam, qui ensemble nous avons traversé toutes les difficultés pour effectuer ce travail.*

*A tous les membres de ma famille, pour leurs infinis soutiens et leurs encouragements.*

**KHADIDJA**

## DEDECACE

*Avec tous mes sentiments de respect, avec l'expérience de ma reconnaissance, je dédie ma remise de diplôme et ma joie :*

*À ma mère et à mon père, puisse Dieu leur accorder Sa miséricorde.*

*À mon paradis, à la prunelle de mes yeux, à la source de ma joie et mon bonheur, ma lune et le fil d'espoir qui allumer mon chemin, ma moitié, Ma sœur Lamia qui a pris la place de ma mère.*

*À celui qui m'a fait une femme, ma source de vie, d'amour et d'affection. A mon support qui était toujours à mes côtés pour me soutenir m'encourager, à mon prince papa Madjid et ma princesse Mama Rachida.*

*A mes frères pour l'amour qu'il me réserve.*

*A mes sœurs qui n'ont pas cessée de me conseiller encourager et soutenir tout au long de mes études.*

*A mon adorable amie Hadil qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour moi.*

*Et mes amies Sabrina, Khawla, Nour, Safa, Khadija, Islem.*

*À mes encadreurs Mr Bounaidja Nadir et Mr Mohamed et Mr Blidi Reda au niveau de complexe sidérurgique El-Hadjar.*

*Sans oublier mon binôme Khadidja pour son soutien moral sa patience sa compréhension tout au long de ce projet.*

*A tout ce qui ont participé à ma réussite et a tous qui m'aiment.*

WEAM

## Sommaire

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	
<b>DEDECACES</b> .....	
<b>Résumé/Abstract/المخلص</b> .....	<b>I-II</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>III-IV</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>V</b>
<b>Liste des abréviations</b> .....	<b>VII-VIII</b>
<b>Introduction générale</b> .....	<b>2</b>

### Chapitre I : Présentation du complexe sidérurgique

I.1.	Introduction .....	5
I.2.	Description générale de l'entreprise (Sider El-Hadjar) .....	5
I.3.	Mission .....	6
I-4.	Histoire du Complexe d'El-Hadjar .....	6
I.5.	Unité de production .....	6-7
I.6.	Organisation de l'entreprise .....	8
I.7.	Les produits et le rôle de chaque unité .....	9
I.8.	Situation géographique du complexe .....	10

### Chapitre II : Traitement des eaux

II.1.	Introduction .....	12
II.2.	L'objectif .....	12
II.3.	Définition de l'eau .....	12
II.4.	Importance de l'eau .....	13
II.5.	Etat de l'eau .....	14
II.6.	Cycle de l'eau .....	15
II.7.	La consommation de l'eau .....	16
II.8.	les propriétés de l'eau .....	16
II.8.1.	Propriétés physiques de l'eau .....	17
II.8.2.	Propriétés chimiques de l'eau .....	18
II.8.3.	Propriétés biologiques .....	18
II.9.	Origine de L'eau .....	18
II.9.1.	Eaux de pluie .....	19
II.9.2.	Eaux de surface .....	19
II.9.3.	Eaux souterraines .....	20
II.9.4.	Eaux de mer .....	21

II.10. la production de l'eau industrielle au niveau de l'unité fluide CFL complexe Sidérurgique d'El-Hadjar .....	21
II.10.1. Eau brute .....	21
II.10.1.1. Prétraitement .....	21
II.10.1.2. Le dégrillage .....	22
II.10.1.3. Coagulation-Floculation .....	22
II.10.1.4. Décantation .....	23
II.10.1.5. Décarbonatation à la chaux .....	25
II.10.1.6. Filtration sur sable.....	25
Conclusion.....	26
II.10.2. Définition des eaux industrielles.....	26
II.10.3. Production de l'eau adoucie .....	27
II.10.3.1 L'adoucissement .....	27
II.10.3.1.1. Définition de léchangeur d'ion .....	28
II.10.3.1.2. Différents types d'échangeur d'ion .....	28
II.10.3.2 La régénération .....	29
II.10.3.2 .1.Etapes de régénération .....	29
II.10.3.2 .2.Méthode de régénération.....	30

### **Chapitre III : Etude expérimentale**

III.1. Introduction .....	32
III.2. Analyse et contrôle de la qualité des eaux .....	32
III.2.1. Laboratoire sidérurgique : Cas d'El-Hadjar.....	32
III.2.2. Paramètres physico-chimique analysés .....	33
III.2.2.1. Paramètres chimique .....	33
III.2.2.2-Paramètres physique.....	35
III.2.3. Types d'eaux analysées .....	36
III.2.3.1. Eau brute.....	36
III.2.3.2. Eau industrielle .....	36
III.2.3.3. Eau adoucie .....	37
III.3. Détermination des paramètres physico-chimiques .....	37
III.3.1. Détermination de l'alcalinité .....	37
III.3.1.1. Principe.....	37
III.3.1.2. Réactifs.....	37
III.3.1.3. Mode opératoire.....	37
III.3.1.4. Expression des résultats.....	38

III.3.2. Détermination du titre hydrotimétrique TH.....	39
III.3.2.1. Principe.....	39
III.3.2.2. Réactifs.....	39
III.3.2.3. Mode opératoire .....	39
III.3.2.4. Expression des résultats.....	39
III.3.3. Dosage de titre calcique ( $T_{Ca^{2+}}$ ).....	40
III.3.3.1. Principe.....	40
III.3.3.2. Réactifs.....	40
III.3.3.3. Mode opératoire .....	40
III.3.3.4. Expression des résultats.....	40
III.3.4. Dosage de titre de magnésienne ( $T_{Mg^{2+}}$ ).....	41
III.3.5. Dosage de chlorures (Cl) .....	41
III.3.5.1. Principe.....	41
III.3.5.2. Réactifs.....	41
III.3.5.3. Mode opératoire .....	41
III.3.5.4. Expression des résultats.....	41
III.3.6. Détermination du pH.....	42
III.3.6.1. Principe.....	42
III.3.6.2. Le pH mètre.....	42
III.3.6.3. Expression des résultats.....	42
III.3.7. Détermination de la conductivité.....	43
III.3.7.1. Principe.....	43
III.3.7.1. Le conductimètre.....	43
III.3.7.1. Expression des résultats.....	43
III.3.8. Détermination des matières en suspension.....	43
III.3.8.1. Principe.....	43
III.3.8.2. Mode opératoire .....	43
III.3.8.3. Expression des résultats.....	44
III.3.9. Détermination de la turbidité.....	44
III.3.9.1. Principe.....	44
III.3.9.2. Mode opératoire .....	44
III.3.9.3. Expression des résultats.....	44
III.3.10. Dosage de fer total.....	45
III.3.10.1. Principe.....	45

	IV. 3.10.2. Réactifs.....	45
	IV. 3.10.3. Mode opératoire .....	45
	IV. 3.10.4. Expression des résultats.....	45
III.4.	Conclusion.....	45

### **Chapitre IV : Résultats et discussions**

IV.1.	Introduction .....	47
IV.2.	Variation des paramètres physico-chimiques des eaux (brute, industrielle et adoucie) 47	
	IV.2.1- Représentation graphique des paramètres .....	47
	IV.2.2- Discussions des résultats.....	53
IV.3.	Conclusion .....	56
	<b>Conclusion générale .....</b>	<b>58</b>
	Référence bibliographique.....	60
	<b>Annexes : Relèves des analyses des eaux étudiées .....</b>	<b>64</b>

## **Résumé**

L'objectif de cette étude a été de faire un contrôle de la qualité des eaux avant et après leur traitement d'adoucissement au niveau du Complexe Sidérurgique d'El Hadjar à Annaba.

Nous avons fait un suivi et un contrôle de la qualité physico-chimique, de l'eau de barrage de Chaffia, dès son arrivé au réservoir du Complexe, jusqu'à son stockage Cette étude nous a permis de voir l'efficacité de l'adoucissement pour le traitement des eaux. Et de diminuer les valeurs des teneurs de la minéralisation avec une efficacité variable selon l'élément minéral.

La dureté totale de l'eau ainsi que la concentration en ions calcium et magnésium ont subi une diminution tout au long de la filière de traitement.

**Mots clés :** Analyse physico-chimique, eaux. traitement des eaux.

## **Abstract**

The aim of this study was to monitor water quality before and after softening treatment at the El Hadjar Iron and Steel Complex in Annaba.

We monitored and controlled the physico-chemical quality of water from the Chaffia dam, from its arrival at the Complex reservoir, right through to storage. And to reduce the values of mineralization content, with variable effectiveness depending on the mineral element.

Total water hardness, as well as calcium and magnesium ion concentrations, decreased throughout the treatment process.

**Key words:** physicochemical analysis, water, water treatment.

## الملخص

كان الهدف من هذه الدراسة هو التحقق من جودة المياه قبل وبعد معالجتها التلدين في مجمع الحجار للصلب في عنابة.

تابعنا ورصدنا الجودة الفيزيائية والكيميائية لمياه سد شافيا من وصولها إلى خزان المجمع إلى تخزينه. سمحت لنا هذه الدراسة برؤية فعالية تخفيف معالجة المياه. وتقليل قيم محتويات التمعدين بكفاءة متغيرة حسب العنصر المعدني. تم تقليل الصلابة الكلية للماء وتركيز أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم طوال عملية المعالجة

**الكلمات المفتاحية:** التحليل الفيزيوكيميائي ، الماء، معالجة المياه.

## Liste du figures

---

Figure I-1: complexe sidérurgique d'El-Hadjar.....	5
Figure I-2 : Organigramme d'Installations et produits du complexe.....	8
Figure I-3:Situation géographique du complexe .....	10
Figure II.1:la Molécule d'eau .....	12
Figure. II.2 : Consommation journalière d'eau pour une personne.....	13
Figure. II.3 : l'état de l'eau.....	15
Figure. II.4 : Changement d'état d'eau.....	15
Figure. II.5 : Cycle de l'eau.....	15
Figure. II.6 : Un dégrilleur.....	22
Figure. II.7 : Coagulation floculation .....	22
Figure. II.8 : Essai du Jar-test par les produits.....	24
Figure. II.9 : décanteur .....	25
Figure. II.10 : filtration sur sable.....	26
Figure. II.11 : schéma de principe de la production de l'eau industrielle au niveau de l'usine à eau ....	26
Figure. II.12: Schéma de principe du mécanisme de l'adoucissement .....	27
Figure. II.13: Schéma du principe du mécanisme de la régénération .....	29
Figure III.1:Laboratoire centrale .....	33
Figure III.2:Dosage volumétrique de TA .....	38
Figure III.3:Dosage volumétrique de TAC.....	38
Figure III.4: Montage de dosage volumétrique du TA et TAC .....	38
Figure III.5: Absence de $\text{Ca}^{2+}$ et $\text{Mg}^{2+}$ .....	39
Figure III.6:Présence de $\text{Ca}^{2+}$ et $\text{Mg}^{2+}$ .....	39
Figure III.7: Montage de dosage volumétrique du TH .....	40
Figure III.8: Montage de dosage volumétrique du $\text{T}_{\text{Ca}^{2+}}$ .....	41
Figure III.9: Dosage volumétrique du Cl.....	42
Figure III.10: pH mètre.....	42
Figure III.11: Conductimètre.....	43
Figure III.12: Spectrophotomètre « Dr 5000 » .....	44
Figure III.13: phenanthroline.....	45
Figure IV-1: Variation du titre alcalimétrie (TA) des eaux (brute, industrielle et adoucie) en fonction de temps.....	47
Figure IV-2: Variation du titre alcalimétrie complet (TAC) des eaux (brute, industrielle et adoucie) en fonction de temps .....	48

## Liste du figures

---

Figure IV-3: Variation de la dureté totale TH des eaux (brute, Industrielle et adoucie) en fonction de temps .....	48
Figure IV-4: Variation de la dureté calcique ( $\text{TCa}^{2+}$ ) des eaux (brute, Industrielle et adoucie) en fonction de temps .....	49
Figure IV-5: Variation de la dureté Magnésienne ( $\text{TMg}^{2+}$ ) des eaux (brute, Industrielle et adoucie) en fonction de temps .....	49
Figure IV-6: Variation des chlorures dans les eaux (brute, industrielle et adoucie) en fonction de temps .....	50
Figure IV-7: Variation du pH des eaux (brute, industrielle et adoucie) en fonction de temps .....	50
Figure IV-8: Variation de TDS des eaux (brute, industrielle et adoucie) en fonction de temps .....	51
Figure IV-9: Variation de MES des eaux (brute, industrielle et adoucie) en fonction de temps .....	51
Figure IV-10: Variation de la température des eaux (brute, industrielle et adoucie) en fonction de temps .....	52
Figure IV-11: Variation de la conductivité des eaux (brute, industrielle et adoucie) en fonction de temps .....	52
Figure IV-12: Variation de la turbidité de l'eau brute en fonction de temps .....	53
Figure 01 : tableau de calculs de chlore en mg/L .....	67

## Liste des tableaux

---

Tableau I.1 : Produit de la production .....	9
Tableau II.1 : Dérivés des sels d'aluminium et de fer .....	23
Tableau III.1 : Caractère des eaux selon le TH.....	34
Tableau III.2 : Classification des eaux d'après leur pH.....	36
Tableau III.3 : Classification des eaux selon la turbidité.....	36
Tableau01 : Résultats des analyses de l'eau brute pendant le mois de février, mars de l'année 2023 .....	64
Tableau02 : Résultats des analyses de l'eau industrielle pendant le mois de février, mars de l'année 2023 .....	65
Tableau03 : Résultats des analyses de l'eau adoucie pendant le mois de février, mars de l'année 2023.....	66

## Liste des abréviations

---

**SBS** : Société Bônoise de Sidérurgie

**SNS** : Société nationale de sidérurgie

**EPE** : l'Entreprise publique économique

**HF** : Haut fourneau

**ACOI** : Aciérie à oxygène pour brames

**ACO2** : Aciérie à oxygène pour billettes

**H<sub>2</sub>O** : l'eau

**°C** : Degré Celsius

**g** : gramme unité de masse

**J** : joule

**K** : kelvin

**CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de carbone

**CO** : Oxyde de carbone

**Mg<sup>2+</sup>** : Ion magnésium

**Ca<sup>2+</sup>** : Ion calcium

**mg** : milligramme

**L** : litre

**mm** : millimètre

**Ca(OH)<sub>2</sub>** : Lait de chaux

**FeCl<sub>3</sub>** : Chlorure ferrique

**trs/min** : tours/minute

**Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>** : Bicarbonate de calcium

**Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>** : Bicarbonate de magnésium

**MPH** : mile par heur unité de mesure de vitesse

**Ca<sup>2+</sup>** : Ion calcium

**Mg<sup>2+</sup>** : Ion magnésium

**NTU** : Nétro turbidité par unité

**°F** : degré français

**SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>** : ion de sulfate

**Cl<sup>-</sup>** : ion chlorure

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : ion de nitrate

## Liste des abréviations

---

**CaCO<sub>3</sub>** : Carbonate de calcium

**MgCO<sub>3</sub>** : Carbonate de magnésium

**TA** : Titre alcalimétrique

**TAC** : Titre alcalimétrique complet

**TH** : Titre hydrotimétrique

**MES** : matière en suspension

**TDS** : Taux de salinité

**pH** : Potentiel d'hydrogène

**μs** : Micro siemens



# Introduction général

## Introduction générale

---

L'eau est un élément naturel d'une importance primordiale, indispensable à toute forme de vie, l'eau est une richesse nécessaire à toutes activités humaines, c'est un facteur de production déterminant dans le développement durable, elle devient de plus en plus au centre des intérêts stratégiques, il est donc nécessaire d'avoir une meilleure connaissance sur les ressources en eaux existantes ainsi que sur leur qualité. L'eau en tant que liquide est considérée comme un solvant universel, elle se congèle à 0 °C et devient vapeur au-delà de sa température d'ébullition (100 °C). La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés et l'utilisation intensive des engrais chimiques en agriculture. Ces derniers produisent une modification chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités. De nombreux travaux se sont aussi rapportés sur l'étude des différents effets des rejets industriels et urbains sur l'évolution de la qualité et la pollution des eaux. Les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. En Algérie, l'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants liés à l'essor démographique et le développement accéléré des activités économiques, notamment l'agriculture en Irrigation et l'industrie. Ces dernières années, la qualité des eaux est devenue une opération majeure et obligatoire, afin de protéger l'environnement et la santé des êtres vivant ou l'exploiter pour la consommation humaine ou l'utilisation industrielle.

Les procédés d'obtention d'eau de très haute pureté sont constitués d'un ensemble d'opérations unitaires. L'enchaînement de ces opérations dépend de la qualité d'eau qui constitue la matière première et de la qualité requise du « produit » fini. De façon générale, on trouve souvent une étape dite de prétraitement et une étape dite de finition (« polishing » dans la littérature anglo-saxonne). Cette étape de finition comporte en général une étape d'échange d'ions. Les solutions qui sont percolées sont alors dans des gammes de concentrations très faibles.

L'objectif de ce travail est avant tout de mener une étude théorique et expérimentale de la production et de l'utilisation de l'eau industrielle. Le second suit la qualité physico-chimique de l'eau brute, L'eau industrielle et l'eau adoucie sont produites et distribuées par l'unité en aciérie à l'Oxygène n°1(L'ACO1) du complexe sidérurgique d'El-Hadjar.

# Introduction générale

---

**Cette étude est répartie comme suit :**

**Le premier chapitre** de mémoire est consacré à une présentation complète du complexe sidérurgique d'El-Hadjar-Annaba.

**Le deuxième chapitre** dans notre travail nous avons étudié généralité sur l'eau et nous présenterons le procédé de traitement de l'eau.

**Le troisième chapitre** est réservé à l'étude expérimentale sur les paramètres physico-chimique dans le traitement des eaux.

**Le dernier chapitre** ou traitera et on discutera les résultats d'analyse.

Et en termine par une conclusion.

A decorative border resembling a scroll, with a black outline and rounded corners, framing the text.

# Présentation du complexe sidérurgique

## I.1. Introduction :

Le Complexe SIDER EL HADJAR est le seul producteur offrant et développant une gamme complète de produits et services acier, des produits de base aux produits à valeur ajoutée, des produits longs aux produits plats, des produits standards aux produits spécialisés, et de l'acier au carbone à l'acier inoxydable et aux alliages.

## I.2. Description générale de l'entreprise (Sider El-Hadjar)

- Complexe sidérurgique intégré, filiale du groupe IMITAL, placé sous la tutelle du Ministère de l'Industrie et des Mines.
- Situé à 12km d'Annaba.
- Superficie : 832 hectares.
- SIDER EL HADJAR dispose de ses propres installations maritimes reliées au réseau ferroviaire pour le transport des matières premières et les expéditions des produits finis.
- SIDER EL HADJAR dispose d'un réseau commercial composé de 7 point de vente à travers le territoire national.
- Pour des besoins en énergie et fluides le complexe est équipé :
  - ✓ Trois (3) centrales thermiques,
  - ✓ Quatre (4) centrales à oxygène,
  - ✓ Trois (3) usines à eau.
- Date de la création de l'entreprise : 03 septembre 1964.



**Figure I-1:** complexe sidérurgique d'El-Hadjar.

### I.3.Mission :

Fabrication et commercialisation des produits sidérurgique finis et semi-finis pour le marché national et international.

### I-4.Histoire du Complexe d'El-Hadjar :

L'entreprise nationale de sidérurgie a été créée par la société bônoise de sidérurgie (SBS) en 1959 suite à la mise en application du plan de Constantine.

Après l'indépendance, celle-ci devient **Société Nationale Sidérurgie (SNS)** et ce-ci dans le cadre de la récupération des richesses du pays.

Elle fut créée le 03 septembre 1964 en tant que moyen pour assurer le développement du pays et améliorer les conditions de vie du peuple, c'est-à-dire répondre aux impératifs économiques et sociaux du développement du pays.

La **SNS** a bénéficié des différents plans de développement pour s'étendre aux files des nécessités et devenir enfin **Entreprise Nationale de Sidérurgie (ENS)**.

L'**ENS** a développé en 1969 un pôle sidérurgique à EL HADJAR pouvant répondre à une gamme de produit très variée, en devenant **SIDER**.

En 2000, et avec la nouvelle politique de partenariat, le complexe prend le sigle **ISPAT** et 5 ans après prend le nom **MITTAL STEEL** et actuellement il est nommé **ARCELOR MITTAL**.

### I.5. Unité de production

#### ZONE CHAUDE

- Préparation matières et agglomération (PMA).
- Haut fourneau (HF) + Coulée pour fonte en gueuse.
- Aciérie à oxygène pour brames (ACOI).
- Aciérie à oxygène pour billettes (ACO2).
- Coulée en source pour lingots (ACE).

### ZONE PRODUITS PLATS

- Laminoir à chaud (LAC + ligne de cisailage).
- Laminoir à froid avec parachèvement et revêtement (LAF/RPA)

### ZONE PRODUITS LONGS

- Laminoir à rond à béton (LRB)

### Unités support et logistiques

- Cokerie.
- Un post de distribution électrique « PDE ».
- Atelier Magrébin de maintenance « AMM ».
- Des ateliers centraux « ATC ».
- D méthodes métallurgiques « MTM ».
- Un magasin de gestion de stock. « GSM ».
- D planifications et organisation « PLO ».

I.6. Organisation de l'entreprise

L'organisation ci-dessous représente les différentes installations.

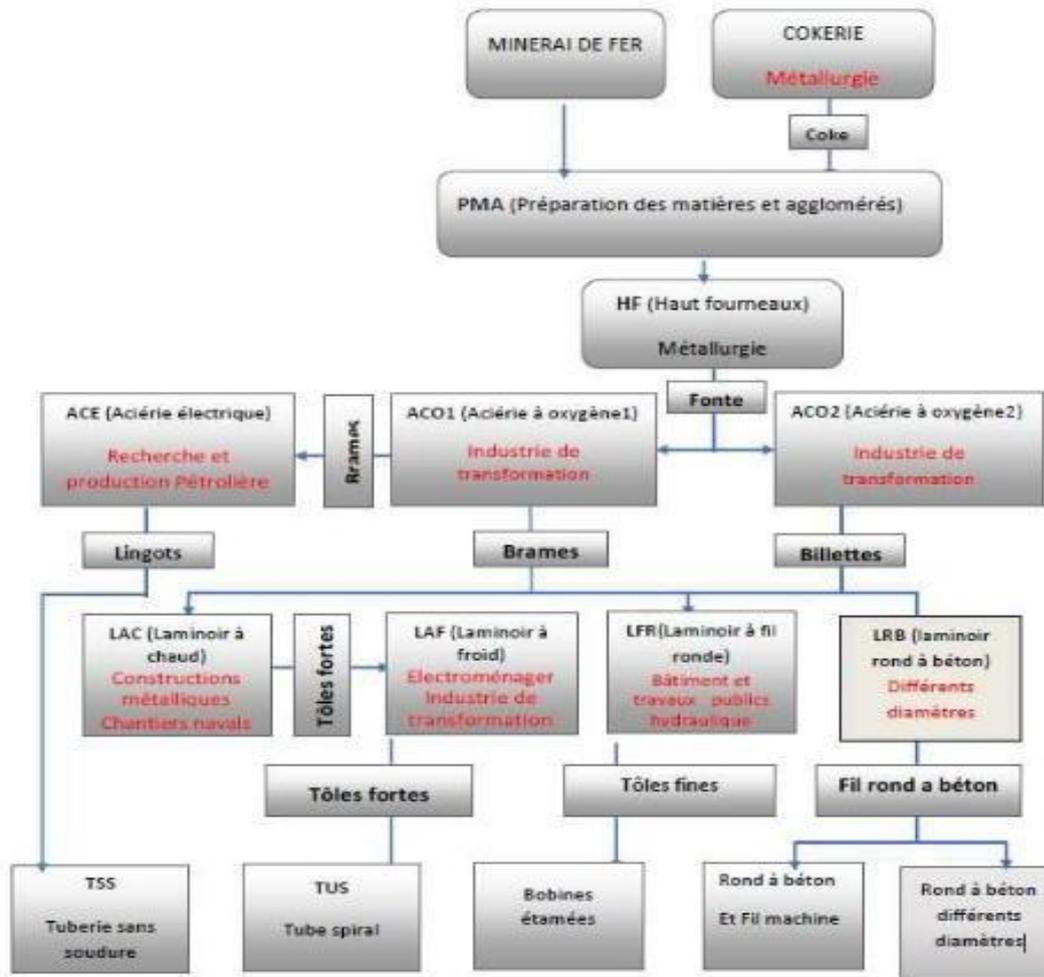


Figure I-2 : Organigramme d'Installations et produits du complexe

**I.7. Les produits et le rôle de chaque unité****Tableau I.1- : Produit de la production**

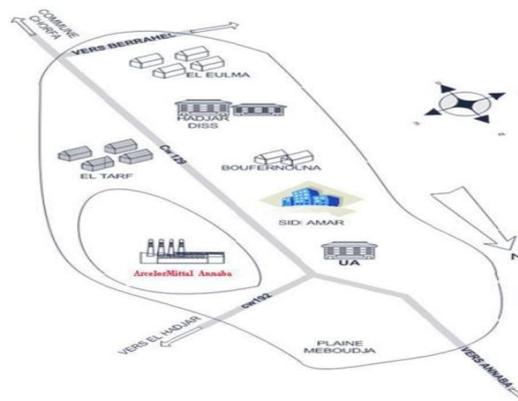
<b>Installation</b>	<b>Produit</b>	<b>Principaux utilisation</b>
Cokerie	Coke	Métallurgie
HF1 et HF2	Fonte	Métallurgie, fonderie
ACO1	Brames	Industrie de transformation
ACO2	Billetes	Industrie de transformation
Laminoir à chaud « LAC »	Tôles fortes	Construction métallique. -Chantier naval. -Industrie de transformation. -Tubes, bouteilles à gaz.
Laminoir à froid « LAF »	Tôles fines	-Industrie de transformation. -Electroménager. -Elect, mobilier métallique, conserve.
Etamage	Fer blanc	- emballage métallique. - Divers pour les industries alimentaires et chimiques.
Galvanisation	Tôles galvanisées	- Bâtiments pour L'agronomie. - Industrie alimentaire et Elevage
Aciérie électrique « ACE »	Lingots	- Recherche et production pétrolière. - Transport des hydrocarbures.
Laminoir à fil rond « LFR »	Fil rond à béton	- Bâtiments et travaux publics hydraulique.

### I.8. 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 15 km au Sud de la ville et occupe une superficie de 800ha. La superficie se repartie approximativement en trois zones :

- Les ateliers de la production,
- Les zones de stockage,
- Les surfaces des services.

Il dispose d'une infrastructure ferroviaire d'une longueur de 60 Km, permettant la libre circulation des matières premières et près de 100Km de la route permettant la circulation des engins (autobus, camion, véhicule ...). [1]



**Figure I-3:**Situation géographique du complexe.



## Chapitre II : traitement des eaux

## II.1. Introduction :

Les activités humaines n'ont jamais été indissociables de l'eau. La révolution industrielle du XIXe siècle, par la promotion de la vapeur d'eau, a permis le développement des capacités de production : l'eau est devenue une matière indispensable au fonctionnement des usines. La classification de l'eau varie selon les références, certaines selon la source ; certains auteurs parlent même d'eau de pluie, d'autres s'intéressent à l'utilisation de l'eau [2].

## II.2. L'objectif :

Traitement de l'eau industrielle est nécessaire car si l'eau insalubre est utilisée dans le processus de production alors les substances indésirables peuvent avoir un effet négatif la qualité des produits. Et si l'on utilise l'eau dans les processus de production, les impuretés peuvent influencer directement sur la qualité des produits.

## II.3. Définition de l'eau :

L'eau est omniprésente dans la nature. C'est un liquide incolore, inodore, insipide et au pH neutre, ce qui en fait un excellent solvant pour la plupart des organismes vivants. L'eau est une substance chimique composée de molécules  $H_2O$ . Ce composé est très stable mais très réactif, et l'eau liquide est également un excellent solvant. Dans de nombreux contextes, le terme **eau** est utilisé au sens étroit d'eau liquide, ou pour désigner des solutions aqueuses réduites (eau douce, eau potable, eau de mer, eau de chaux... etc). [3]

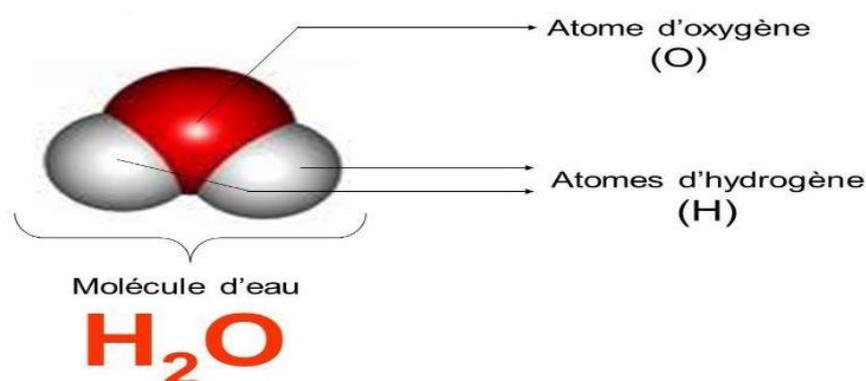


Figure II.1: la Molécule d'eau

#### II.4. Importance de l'eau :

L'eau est vitale pour notre corps. Notre corps en a besoin, comme beaucoup d'autres êtres vivants. L'un des besoins majeurs de la vie sur Terre est la conservation de l'eau. Les mammifères résolvent ce problème grâce à une adaptation surprenante de leurs reins et de leur régulation hormonale. Elle apporte les nutriments nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme, régule notre température corporelle, facilite l'élimination des déchets et des toxines... L'eau est indispensable à notre santé. Au fait, saviez-vous que 60 % de notre corps est composé d'eau ?

L'eau irrigue tout le corps, nourrit en permanence les 50 milliards de cellules qui le composent, et permet les échanges chimiques qui s'effectuent en permanence dans l'organisme. Elle est donc partout : dans le sang et les organes bien sûr, mais aussi dans le cartilage, la cellulite, les muscles, les dents...

Par conséquent, une personne doit répondre quotidiennement à ses besoins en eau en buvant et en mangeant, car les aliments contenant beaucoup d'eau. Afin de maintenir une bonne santé, la perte d'eau doit toujours être compensée par un apport. La soif est aussi un mécanisme \_ par lequel le corps « avertit » qu'il est déshydraté. [4]

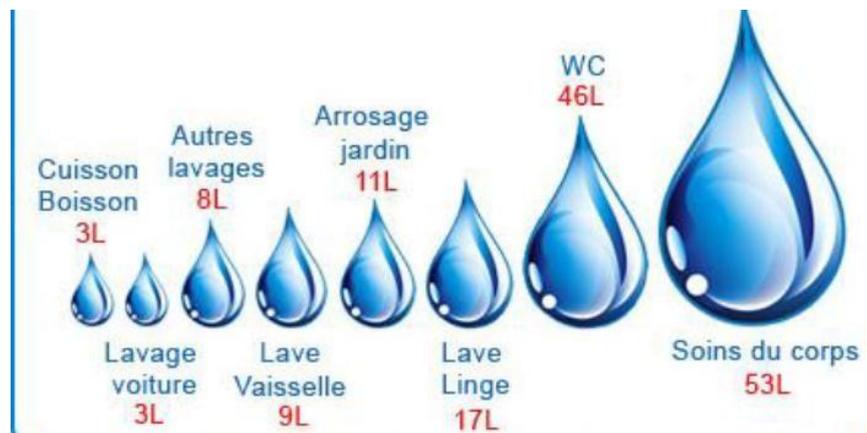


Figure. II.2 : Consommation journalière d'eau pour une personne

**II.5. Etat de l'eau :**

L'eau est le seul composé naturel qui existe sous forme solide, liquide et gazeuse. Avec l'action conjuguée de la chaleur (solaire) et de la pression (atmosphérique), elle change d'état. Ces changements d'états interviennent par rupture des liaisons hydrogène qui unissent les molécules d'eau entre elles. [5]

**a) L'état solide :**

L'eau est à l'état solide si la température est inférieure ou égale à 0° Celsius.

Voici quelques exemples de présentation de l'eau à l'état solide :

- La glace : elle résulte du gel de l'eau, elle se forme à 0° Celsius,
- La neige : c'est un minuscule cristal de glace en forme d'étoiles ; les flocons se forment par agglomération de ces cristaux,
- Le givre : c'est le gel du brouillard,
- Le glacier : il est le résultat du tassement de la neige accumulée. [5]

**b) L'état liquide**

L'eau est à l'état liquide pour des températures oscillant entre 0° et 100° Celsius à une pression normale (1 bar).

Voici quelques exemples de présentation de l'eau à l'état liquide :

- Les nuages : ils sont formés par l'accumulation de gouttelettes d'eau,
- La pluie : elle est constituée des gouttelettes d'eau libérées par les nuages,
- Le brouillard : il est constitué de gouttelettes d'eau en suspension dans l'air. [5]

**c) L'état gazeux**

L'eau est à l'état gazeux, ou état de vapeur, dès 100° Celsius à pression normale. Mais elle peut l'être aussi à température inférieure. Il est à noter que la vapeur d'eau est invisible. Ce que l'on voit, c'est sa transformation. Par exemple la vapeur qui rencontre une paroi froide se condense sur celle-ci et se transforme en eau, c'est un changement d'état. [5]



Figure. II.3 : l'état de l'eau

L'eau peut être changée d'un état à un autre quand les conditions de température sont réunies. Ces passages portent les noms.

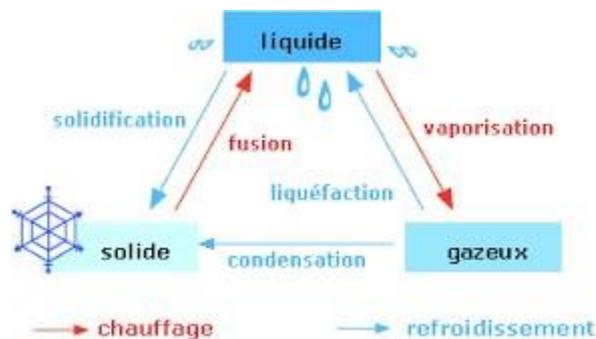


Figure. II.4 : Changement d'état d'eau

### II.6. Cycle de l'eau :

La simple molécule d'eau (H<sub>2</sub>O) est formée par l'association d'un élément primordiale qui est l'hydrogène et l'oxygène. L'hydrogène est élément le plus abondant de l'univers (90%). Il est la base qui a servi à fabriquer les autres éléments.

Entre le ciel et la terre, la même eau est en circulation depuis plusieurs d'années.

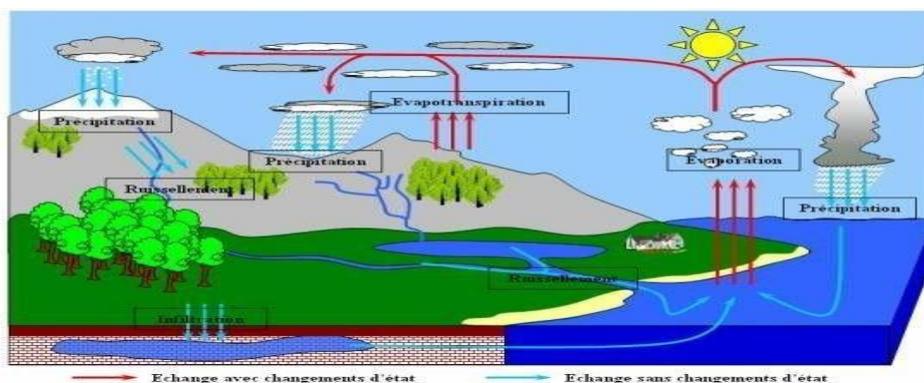


Figure. II.5 : Cycle de l'eau

L'eau passe d'un état à un autre en permanence, c'est ce qu'on appelle le cycle de l'eau. la science qui étudie ces phénomènes est appelée hydrologie.

En résumé, on retiendra les phénomènes suivants :

- 1) Evaporation** : le soleil chauffe l'eau des mers, océans, des rivières et cours de l'eau et la transforme en vapeur. L'évapotranspiration des végétaux et des animaux produit également de la vapeur.
- 2) Condensation** : en s'élevant la vapeur se refroidit et se condense sous forme de gouttelettes ou cristaux et forme ainsi les nuages.
- 3) Précipitations** : les nuages déversent leur contenu sur la terre (pluie, brume, neige ou grêle, sur les océans et les continents.
- 4) L'écoulement** : soit les précipitations tombent sur les mers et sur océans soit elles tombent sur les continents. Dans ce dernier cas, elles vont ruisseler et alimenter les eaux superficielles (lacs et rivières) soit s'infiltrer pour rejoindre les rivières ou les nappes souterraines pour finalement rejoindre un jour la mer, les océans ... et le cycle recommence.

### **II.7. La consommation de l'eau :**

L'eau est indispensable à la survie de tous les êtres vivants. C'est le premier composant de la matière vivante. Un adulte contient, en moyenne, 60 % d'eau, un nourrisson 75%. L'eau est nécessaire pour assurer la circulation du sang, La respiration, l'apport de sels minéraux, l'élimination des déchets. Privé d'eau, l'être humain peut ne pas vivre plus de 3 à 4 jours. L'eau est éliminée principalement par l'urine (environ 1 litre par jour), la transpiration (0,5 à 1 litre par jour), la respiration (0,5 litre par jour). La déshydratation, c'est-à-dire la perte de 15% de l'eau du corps, peut entraîner la mort. Il est recommandé de boire 1,5 litre d'eau par jour. Les différents aliments peuvent nous apporter environ 1 litre d'eau. [6]

L'eau est aussi indispensable pour la consommation domestique, agricole et industrielle de la population.

### **II.8. les propriétés de l'eau :**

L'eau ne représente pas la même chose pour tout le monde. Elle possède des propriétés physiques et chimiques uniques et d'autre propriétés : on peut la faire geler, fondre, évaporer ou chauffer et la mélanger. Rappelons que la molécule est la plus petite quantité d'un corps pur qui puisse exister à l'état libre. C'est un assemblage d'atomes. La molécule conserve toutes les propriétés physiques et chimiques de ce corps.

**II.8.1. Propriétés physiques de l'eau :**

L'eau sur terre connaît une phase liquide particulièrement importante et elle possède les propriétés physiques principales suivantes :

**✓ Point d'ébullition :**

Dans les phases liquide et solide de l'eau, les liaisons hydrogène lient les molécules fortement entre elles. C'est parce qu'il faut briser ces liaisons que l'eau a une température d'ébullition particulièrement élevée pour une molécule de cette masse molaire. Cette caractéristique de l'eau permet à une importante phase liquide d'exister aux températures que nous connaissons sur terre. Cette phase liquide est nécessaire à l'apparition et au maintien de la vie telle que nous la connaissons sur cette planète. [7]

**✓ Viscosité :**

Elle diminue lorsque la température croît ; par contre, elle augmente avec la teneur en sels dissous. Contrairement aux autres liquides, une pression modérée, rend l'eau moins visqueuse aux basses températures. [7]

**✓ La masse volumique :**

Elle varie avec la température et la pression, mais aussi avec la teneur en sels dissous. La masse volumique de l'eau est maximale à la température de 4 °C (1 g /cm<sup>3</sup>) alors qu'en phase solide elle n'est que de 0,88. [7]

**✓ Solvant :**

L'eau est le plus important solvant de la surface de la planète. Elle se charge donc des minéraux et substances organiques qu'elle croise et dissout. [7]

**✓ Tension superficielle :**

La tension superficielle de l'eau est très élevée. Cette propriété permet la formation de gouttes et favorise l'ascension capillaire. [7]

**✓ Chaleur spécifique :**

L'eau est l'élément naturel dont la chaleur spécifique est la plus élevée : 4185 J·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>.

✓ Elle demande donc beaucoup d'énergie pour être réchauffée et pour être refroidie. [7]

**✓ Chaleur latente :**

Les chaleurs latentes de fusion et de vaporisation de l'eau sont élevées. Comme l'énergie est prélevée sur le substrat on comprend que le phénomène d'évaporation de l'eau vers l'atmosphère refroidisse continuellement les océans. Ces caractéristiques expliquent que l'hydrosphère liquide agisse comme un tampon thermique qui régularise la température terrestre. [7]

**✓ Capacité thermique :**

L'eau présente une très grande capacité thermique de tous les fluides. Du fait de cette capacité, les masses d'eau agissent comme des tampons ou régulateur contre les changements élevés de température. [7]

**✓ Transparence :**

L'eau est transparente dans le spectre visible, mais elle absorbe le rayonnement infrarouge dès les premiers mètres d'épaisseur, ce qui explique que seules les eaux superficielles se réchauffent. [7]

**II.8.2. Propriétés chimiques de l'eau :**

L'énergie de formation de la molécule d'eau, 242KJ/mol et élevée. IL s'ensuit que l'eau possède une grande stabilité. Cette, associé aux propriétés électrique et à la constitution moléculaire de l'eau, la rend particulièrement apte à la mise en solution de nombreux corps gazeux, liquide polaire, et surtout solide. La plupart des substances minérales peuvent se dissoudre dans l'eau, ainsi qu'un grand nombre de gaz et de produits organiques. La salvation (ou action hydratant de l'eau) est le résultat d'une destruction complète ou partielle des divers liens électrostatique entre les atomes et les molécules du corps à dissoudre, pour les remplacer par de nouveaux liens avec les molécules d'eau ; et forage ainsi des nouvelles structures : il se produit une véritable rection chimique (une salvation complète est une dissolution). [8]

**II.8.3. Propriétés biologiques :**

L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone contribuent à créer des conditions favorables au développement des êtres vivants. Il existe un cycle biologique, au cours duquel s'effectue une série d'échanges grâce à l'eau. Celle-ci est le constituant principal (en volume) des êtres vivants, et plus particulièrement du protoplasme de toutes les cellules. L'eau compose aussi la plus grande partie de nos aliments (70 à 95 % de la plupart de nos viandes et de nos fruits et légumes. légumes). Il est donc évident que « l'eau, c'est la vie », mais il convient de préciser quelques-unes des multiples relations qui existent entre elle et les êtres vivants. [9]

**II.9. Origine de L'eau :**

L'eau existe dans la nature en quantité énorme, aussi bien à l'état liquide qu'à l'état solide qu'à l'état gazeux. On estime qu'elle couvre 70% de la surface du globe. La plus grande partie de l'eau est constituée par les eaux salées des mers et océans, et finalement par l'eau douce n'intervient que dans une très faible proportion de l'eau totale. L'eau liquide se forme par condensation en altitude est relativement pure et avant d'atteindre le sol, elle dissout les gaz et absorbe des composés solubles présent dans l'air.

A son arrivée au sol, beaucoup de composants de la croûte terrestre peuvent être dissout par l'eau de pluie, à travers les couches géologiques perméables. La présence des gaz dissouts aide la dissolution des minéraux, en particulier le CO<sub>2</sub>.

Les eaux douces peuvent être classées en quatre catégories:

- 1- Les eaux de pluie.
- 2- Les eaux de surfaces.
- 3- Les eaux sous terraines (puits, puits profonds, nappes phréatiques).
- 4- Les eaux de mer.

### **II.9.1. Eaux de pluie :**

L'eau de pluie est une eau de haute qualité pour la consommation humaine.

Ils sont riches en oxygène et en azote et ne contiennent pas de sels dissous, tels que les sels de magnésium et de calcium, ils sont donc très doux. Dans les zones industrialisées, l'eau de pluie peut être polluée par les poussières présentes dans l'atmosphère. La répartition des précipitations dans le temps et la difficulté de collecte font que peu de villes utilisent cette source d'eau [10].

### **II.9.2. Eaux de surface :**

Ces eaux peuvent être divisées en trois catégories : les eaux fluviales (partie amont),

les eaux fluviales (partie aval) et les eaux lacustres. Toutes les eaux de surface ont une dureté modérée.

#### **❖ Les eaux de rivières (partie amont) :**

Les tronçons supérieurs du fleuve sont généralement situés dans des zones montagneuses à faible densité de population et peu industrielles. Les principales caractéristiques de ces eaux sont les suivantes :

- ✓ Forte turbidité: La rivière est turbulente et le plan d'eau transporte une grande quantité de matières en suspension.
- ✓ Faible contamination bactérienne: Il n'y a presque pas de contamination causée par l'homme ou l'industrialisation.
- ✓ Basse température: Cette eau provient soit de sources, soit de la fonte des neiges et des glaciers.
- ✓ Faible indice de couleur: Ces eaux n'ont pas eu le temps de dissoudre la matière végétale, qui est la principale source de couleur [10].

**❖ Les eaux de rivières (partie aval) :**

Les cours inférieurs des rivières sont généralement situés dans des zones à forte densité de population, une agriculture développée et davantage d'industries. De ce fait, la qualité de l'eau y est souvent moins bonne et plus difficile à traiter qu'en amont. Les principales caractéristiques de ces eaux sont les suivantes :

- ✓ Contamination bactérienne élevée, qui est principalement attribuable au rejet des effluents domestiques et agricoles.
- ✓ Forte pollution organique et inorganique. Les eaux usées domestiques, agricoles et industrielles contiennent une grande quantité de substances organiques et inorganiques.
- ✓ L'indice de couleur peut être élevé. Dans bien des cas, l'eau a eu le temps de dissoudre les matières végétales qui les coloraient.

Sachez que le débit et la qualité de l'eau de la rivière (en amont et en aval) peuvent changer à court terme. C'est pourquoi les stations d'épuration doivent être suffisamment sophistiquées pour réagir rapidement à toute modification des caractéristiques de l'eau du fleuve [10].

**❖ Eau de lac**

Les lacs peuvent être considérés comme des bassins naturellement sédimentés avec de longues périodes de rétention. En conséquence, l'eau a une faible turbidité et une contamination bactérienne généralement faible. Les caractéristiques du lac changent très lentement tout au long de l'année, à l'exception de deux brèves périodes au printemps et à l'automne. Pendant ce temps, la différence de température entre les eaux de surface et les eaux profondes peut faire basculer le lac, provoquant une augmentation soudaine de la turbidité. [10]

**II.9.3. Eaux souterraines :**

Les eaux souterraines enfouies dans le sol, sont habituellement à l'abri des sources de pollution. Puisque les caractéristiques de ces eaux varient très peu dans le temps, les usines de purification n'ont pas à résoudre les problèmes dus aux variations brusques et importantes de la qualité de l'eau brute. Les principales caractéristiques des eaux souterraines sont présentées ci-dessous :

- ✓ Turbidité faible : Les eaux bénéficient d'une filtration naturelle dans le sol.
- ✓ Contamination bactérienne faible : Le très long séjour dans le sol, la filtration naturelle et l'absence de matières organiques ne favorisent pas la croissance des bactéries.

- ✓ Température constante : Les eaux souterraines sont à l'abri du rayonnement solaire et de l'atmosphère.
- ✓ Indice de couleur faible : Les eaux souterraines ne sont pas en contact avec les substances végétales, sources de couleur.
- ✓ Débit constant : Contrairement à celles des eaux de rivière, la qualité et la quantité des eaux souterraines demeurent constantes durant toute l'année.
- ✓ Dureté souvent élevée : Les eaux peuvent être en contact avec des formations rocheuses contenant des métaux bivalents ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ , etc.) responsables de la dureté.
- ✓ Concentration élevée de fer et de manganèse : ces métaux souvent présents dans le sol, sont facilement dissous lorsque l'eau ne contient pas d'oxygène dissous [10].

#### **II.9.4. Eaux de mer :**

Les eaux de mer sont une source d'une eau brute qu'on n'utilise que lorsque il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Les eaux de mer sont caractérisées par leurs concentrations en sels dissous ; c'est ce qu'on appelle la salinité, celle-ci des eaux de mer varie de 33000 à 37000 mg/L [10].

### **II.10. la production de l'eau industrielle au niveau de l'unité fluide CFL complexe Sidérurgique d'El-Hadjar :**

#### **II.10.1. Eau brute :**

Le réseau d'eau qui alimente l'usine provient du barrage de CHAFIA à travers la station de pompage qui se trouve à SIDI AMAR, cette dernière alimente l'usine gravitaire avec des conduites de 1050 mm et une pression de 4 bars et un débit de 2000 m<sup>3</sup>/heure.

#### **Arrivée d'eau**

L'eau arrive dans cette conduite. La pression dans l'arrivé est réglée dans la salle de pompage EBS. Par la suite, elle se dirige directement vers un bassin amortissant appelé le brise charge. Le rôle de ce dernier est de cassé les grandes charges d'eau qui arrive du barrage et essayer de les freinés, et aussi l'injection des produits chimiques comme lait de chaux  $Ca(OH)_2$ , chlorure ferrique ( $FeCl_3$ ), polymère (Sp6).

#### **II.10.1.1. Prétraitement :**

Les eaux brutes doivent subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement. Il est destiné à extraire de l'eau brute la plus grande quantité d'éléments dont la nature ou les dimensions constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs [11].

### II.10.1.2. Le dégrillage :

Le rôle principal du dégrillage est une pré-filtration pour éliminer les gros matériaux qui peuvent endommager les installations et réduire l'efficacité globale du procédé de traitement.



Figure. II.6 : Un dégrilleur.

### II.10.1.3. Coagulation-Floculation :

L'opération de coagulation-floculation a pour but la croissance des particules Déstabilisées puis formation de flocs par absorption et agrégation, le schéma qui illustre ce phénomène est présenté sur la figure. Les flocs ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite [12].

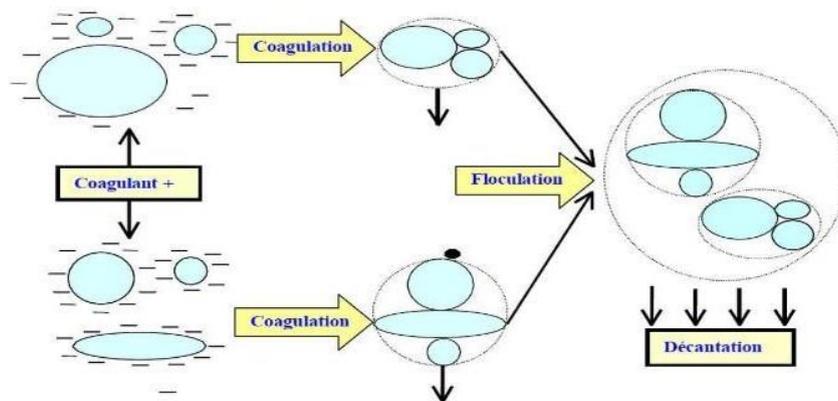


Figure. II.7 : Coagulation floculation.

#### II.10.1.3.1. Coagulants utilisés :

L'efficacité de la clarification dépend d'abord du coagulant utilisé. Les coagulants les plus efficaces sont des sels de métaux, à bases d'aluminium ou de fer. Ils sont cités dans le tableau 1.

Tableau II.1 : Dérivés des sels d'aluminium et de fer.

Sels d'aluminium	Formule chimique	Sels de fer	Formule chimique
Sulfate d'aluminium	$Al_2(SO_4)_3$	Chlorure ferrique	$FeCl_3$
Chlorure d'aluminium	$AlCl_3$	Sulfate ferrique	$Fe(SO_4)_3$
Aluminate de sodium	$NaAlO_2$	Sulfate ferreux	$FeSO_4$

Les produits les plus utilisés sont l'alun et le chlorure ferrique. Ces coagulants, une fois introduits dans l'eau, forment des produits d'hydrolyse qui déterminent l'efficacité de la coagulation [13].

#### II.10.1.3.2. La floculation :

Après avoir été déstabilisées, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres, c'est la floculation. Le taux d'agglomération des particules dépend de la probabilité des contacts et de l'efficacité de ces derniers. La floculation a justement pour but d'augmenter la probabilité de contact des particules, lesquelles sont provoquées par la différence de vitesse entre ces particules. [14]

##### a)Appareillage et méthode du « Jar-test » :

L'appareillage utilisé est généralement constitué d'un agitateur à hélices multipostes (3 ou plus), muni d'un variateur de vitesse et d'un compte-tours.

1. Remplir des béchers d'un litre d'eau à traiter,
2. A l'aide d'une pipette introduire à dose croissante dans les béchers une solution de sulfate d'alumine à 10g/l,
3. Plonger l'hélice dans le premier bécher et mettre le floculateur en marche en agitant vigoureusement (100 à 200 trs/min). Plonger le pH-mètre dans le premier bécher et à l'aide d'une pipette ajouter une suspension de chaux à 1g/l jusqu'à l'obtention du pH de floculation,
4. Retirer l'hélice et la sonde de pH-mètre et noter la quantité de chaux injectée,
5. Reprendre les étapes 3, 4, et 5 pour le deuxième béchers mais sans enlever l'hélice et calculer la différence de la quantité de chaux injectée entre le premier et le deuxième béchers,
6. Plonger les hélices dans tous les béchers et ajouter les quantités de chaux proportionnellement aux quantités de sulfate injectées par rapport au résultat obtenu à l'étape 6,
7. Ajouter, s'il existe, à dose constante la quantité optimale de polymère 1g/l,

8. Agiter vigoureusement pendant 2 à 3 minutes (100 à 200 trs/min) et réduire en suite la vitesse d'agitation à environ (30 à 40trs/min) pendant 15 à 20 minutes,
9. A la fin de l'agitation lente retirer doucement les hélices des béchers sans casser les floccs et laisser décanter pendant 20 à 30 minutes,
10. A l'aide d'une pipette ou d'une seringue, prendre une quantité d'eau décantée et déterminer les turbidités,
11. Plonger la sonde de pH-mètre dans les béchers, les pH de floculation doivent être presque identiques,
12. Appliquer les taux de sulfate, chaux et polymère du bécher ayant la plus faible valeur de turbidité en eau décantée.



**Figure. II.8 :** Essai du Jar-test par les produits

### **b) Objectifs recherchés :**

Les objectifs principaux de l'expérience du « Jar-test » sont très fréquemment de deux ordres, et ce pour un paramètre donné de qualité (turbidité, MES, métaux) :

- déterminer la dose optimale de coagulant (et de floculant) ;
- déterminer la zone optimale de pH de coagulation.

### **II.10.1.4. Décantation :**

La décantation est une opération qui consiste à réaliser une séparation solide-liquide qui permettra d'obtenir l'eau clarifiée d'un côté et les boues de l'autre. Nous utilisons, en général, l'action de pesanteur sur les particules en suspensions. Nous recueillons ensuite l'eau claire à la partie supérieure de l'appareil, alors que nous soutirons les boues sédimentées dans la partie inférieure.

L'utilisation d'un décanteur lamellaire permet d'accroître le rendement de la décantation. Ce type d'ouvrage comporte les lamelles parallèles inclinées. Une décantation lamellaire permet d'éliminer plus de 70% des matières en suspensions [15].



**Figure. II.9 :** décanteur

#### **II.10.1.5. Décarbonatation à la chaux :**

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

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

#### **II.10.1.6. Filtration sur sable :**

La filtration lente est une méthode de purification biologique qui comprend

Faire passer l'eau traitée à travers un lit de matériau filtrant à un taux de 0,1 à 0,2

Le matériau filtrant le plus approprié pour le MPH est le sable. Dans cette période de temps, améliore considérablement la qualité de l'eau en réduisant la quantité d'oligo-éléments Organismes (bactéries, virus), en éliminant les matières en suspension et colloïdales et par des changements dans sa composition chimique. à la surface du lit

La fine couche est appelée "biofilm". Cette fine couche superficielle est essentielle car c'est là que se déroule le processus de purification.

Après filtration sur sable, l'eau filtrée entre dans la salle d'élimination des déchets. des eaux. Cette salle contient des réservoirs souterrains qui stockent l'eau pour l'industrie.



Figure. II.10 : filtration sur sable.

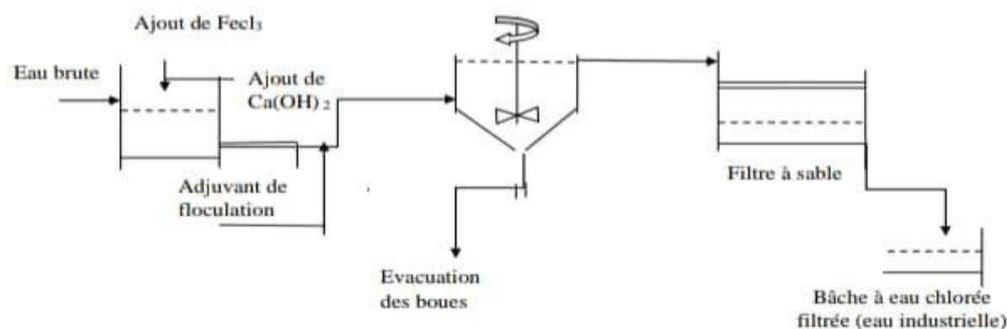


Figure. II.11 : schéma de principe de la production de l'eau industrielle au niveau de l'usine à eau.

### Conclusion :

Avant que l'eau n'atteigne l'unité d'ACO1 avec sa forme industrielle, elle s'agissait d'eau brute, qui subissait un traitement préliminaire au niveau de la zone ouest. Là où elle a été soumise à une clarification par décantation et décarbonatation pour abaisser la dureté, puis une filtration sur sable pour assurer l'élimination totale de la matière en suspension afin d'orienter vers les autres unités tel que HF2 et ACO1, ACO2.

### II.10.2. Définition des eaux industrielles :

L'eau résiduaire industrielle désigne l'eau qui provient des activités industrielles. Elle est différente des eaux usées domestiques et ses caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elle peut également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures. Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles sont mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations de traitement.

### Utilisation de l'eau industrielle

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

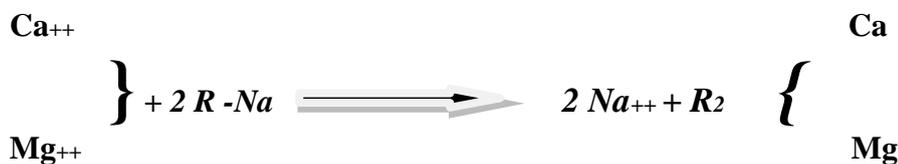
- Le refroidissement des machines à couler continue et des billettes ;
- Le refroidissement, l'épuration des gaz (CO, CO<sub>2</sub>) et les poussières (calamines et graphites) des convertisseurs ;
- Le refroidissement des échangeurs, des moteurs des pompes

### II.10.3. Production de l'eau adoucie :

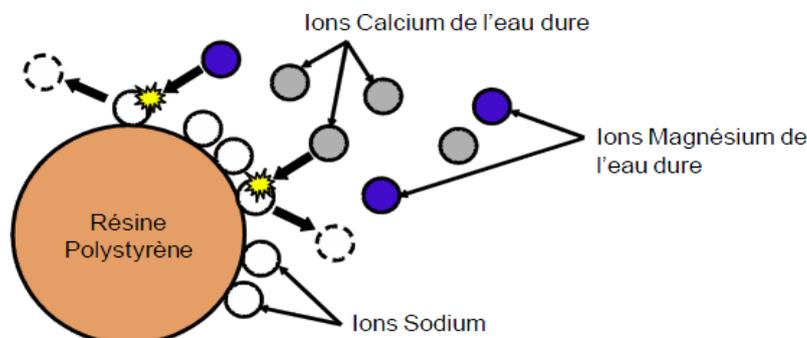
La présence d'une forte concentration en minéraux dans une eau conduira dans certaines conditions à des phénomènes de précipitation et donc à l'apparition de dépôt. En particulier, pour éviter la formation de tartre, le constructeur procède alors aux traitements d'adoucissement à l'aide d'une résine échangeuse d'ions.

#### II.10.3.1 L'adoucissement :

L'adoucissement est une technique qui élimine les ions qui cause la dureté de l'eau en général, les ions calciums et magnésiums. L'eau percole sur une résine échangeuse de cations sous la forme ionique sodium qui permet la substitution aux ions Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> présents dans l'eau, d'ions Na<sup>+</sup> fixés sur la résine, selon la réaction suivante :



Illustre cette réaction : les billes de résine sont initialement chargées avec des ions sodium (Na<sup>+</sup>). Comme on le voit schématiquement, chaque ion calcium ou magnésium qui pénètre dans la résine est remplacé par deux ions sodium qui en sortent.



**Figure. II.12:** Schéma de principe du mécanisme de l'adoucissement.

Il est essentiel de faire l'adoucissement sur une résine échangeuse d'ion à partir d'une eau parfaitement clarifiée (turbidité inférieure à 2 NTU) avec un TAC de l'ordre de 2 à 6 °F.

Lors de l'usage d'un échangeur d'ion il faut tenir compte des facteurs limitant l'usage des résines tels que :

- La charge organique dissoute ou certains agents complexants pouvant empoisonner la résine ;
- Une forte teneur en matières en suspension pouvant engendrer facilement le colmatage de la colonne. [16]

#### **II.10.3.1.1 Définition de l'échangeur d'ion :**

Les échangeurs d'ions sont des substances granulaires insolubles, comportant dans leur structure moléculaire, des radicaux acides ou basique susceptibles de permuter, sans modification apparente de leur aspect physique, et sans altération ou solubilisation, les ions positifs ou négatifs, fixés sur ces radicaux, contre des ions de même signe se trouvant en solution dans le liquide pendant leur contact.

Cette permutation est appelée échange d'ion. [17]

#### **II.10.3.1.2 Différents types d'échangeur d'ions :**

La plupart des résines utilisées de nos jours sont des matières synthétique produites à partir d'un polymère (habituellement des chaînes de polystyrène reliées entre elles par du divinylbenzène).

Fondamentalement, on distingue :

##### **A) Echangeur de cations :**

- ***Echangeur de cations fortement acide :***

Ce sont des copolymères styrène di-vinylbenzène, dotés de groupement fonctionnel sulfoné (R-SO<sub>3</sub>H), fixé par action de l'acide sulfonique après polymérisation, d'où leur désignation courante des résines « polystyrène sulfoné ». Ces résines se présentent sous forme de bille plus ou moins colorées en jaune. C'est pratiquement le type utilisé pour la production de l'eau adoucie au niveau de l'ACO<sub>2</sub>.

- ***Echangeurs de cations faiblement acides :***

Ce sont des résines polyacryliques caractérisées par la présence de radicaux carboxyliques COOH, pouvant s'apparenter à certains acides organiques tels que l'acide formique ou acétique. Elles se différencient des échangeurs fortement acides sur deux points :

- Elles fixent seulement les cations Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>2+</sup> .... liés aux bicarbonates mais ne peuvent échanger les cations en équilibre avec des anions forts (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>);

- Elles se régénèrent facilement (réaction d'un acide fort sur des sels d'acides faibles) ; la réaction est totale, avec des taux de régénération voisins de la stœchiométrie.

### B) Echangeur d'anions :

- *Echangeur d'anions fortement basique :*

Les résines fortement basiques sont des amines quaternaires. Leur squelette est soit acrylique, soit polystyrénique, à structure gel ou macroporeuse. Elles servent pour fixer les acides faibles comme l'acide carbonique ou la silice. Elles peuvent également libérer les bases et leurs sels.

- *Echangeur d'anions faiblement basique :*

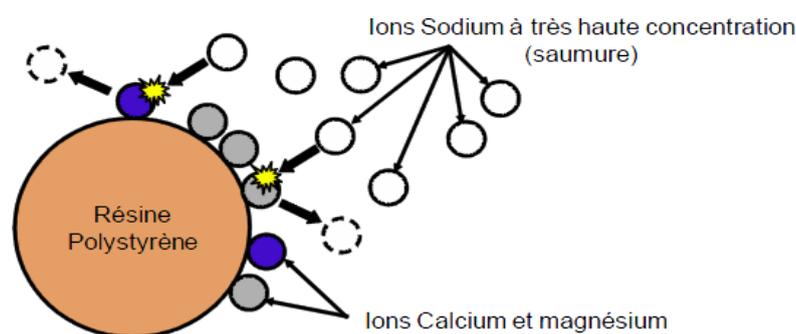
Ces produits sont des amines généralement tertiaires. Les amines primaire sont rarement utilisées et ont une basicité très faible.

Leur squelette est soit polystyrénique à structure macroporeuse, soit polyacrylique. Les résines polyacryliques ont plus de capacité et retiennent l'acide carbonique mais sont difficiles à rincer. [17] [18]

#### II.10.3.2 La régénération :

Les résines ont une capacité de fixation de calcium limitée, lorsque cette capacité limite est atteinte après passage d'un certain nombre de mètres cubes, le calcium de l'eau brute n'est plus fixé et réapparaît en sortie d'adoucisseur : c'est la fuite de dureté. L'adoucisseur n'est plus en mesure de remplir son rôle et il faut donc procéder à la régénération [18].

La figure.II.13 illustre la réaction réversible où les billes de résine sont chargées avec des ions calcium et magnésium. Après ce procédé, la résine retourne à sa forme ionique afin qu'elle puisse être réutilisée pour un nouveau cycle.



**Figure. II.13:** Schéma du principe du mécanisme de la régénération.

**II.10.3.2.1. Etapes de régénération :****➤ Détassage :**

Cette étape consiste à établir un courant d'eau ascendant qui met la résine en expansion. Contrairement les particules solides ainsi que les fines particules de la résine sont évacuées vers l'égout. Cette opération est extrêmement importante car elle permet d'éliminer les matières en suspension qui auraient décanté et facilite la fixation du sodium. On admet que le débit nécessaire est le même que le débit instantané en phase de production d'eau adoucie. [19] [20]

**➤ Régénération :**

On introduit alors la solution régénérant, généralement concentrée, en la faisant percoler lentement.

**➤ Rinçage :**

On déplace ensuite le régénérant par de l'eau, à faible débit, jusqu'à ce que le lit de résine n'en contienne plus que des traces. C'est la phase de déplacement ou rinçage lent.

Ensuite, on procède à un rinçage rapide à un débit plus élevé de façon à éliminer les dernières traces de régénérant. L'opération se termine lorsque tous les chlorures de sodium sont totalement éliminés et la dureté à la sortie de l'adoucisseur est voisine de zéro [20].

**II.10.3.2.2. Méthode de Régénération :**

- ❖ **Régénération à Contre-courant** : pour ce procédé, on injecte la solution concentrée en ion A de bas en haut, de couches moins saturées aux couches complètement saturées pour ne pas laisser de places à l'ion B à s'accrocher, d'où on aura un meilleur rendement.
- ❖ **Régénération à Co-courant** : pour cette opération, la solution concentrée en ion A, est mis au contact avec les couches d'échangeur saturées en ion B, qui vont être chassées de la résine, limogées de la couche supérieure vers les couches moins saturées. Dans ce cas on aura une mauvaise régénération dû à la présence des ions B dans les couches inférieures.

**Les avantages de la régénération à contre-courant se présentent comme suit :**

- ✚ Amélioration de rendement et par conséquent diminution de la consommation des réactifs ;
- ✚ Amélioration de la qualité de l'eau traitée.



# Chapitre III : étude expérimentale

**III.1. Introduction :**

Pour identifier la qualité d'eau, il est indispensable de connaître certains paramètres utilisés pour l'analyse de l'eau, et donc dans ce chapitre, nous allons mettre le matériel utilisé durant la partie pratique de ce mémoire, tous les essais expérimentaux ont été mené au laboratoire centrale.

**III.2. Analyse et contrôle de la qualité des eaux :****III.2.1. Laboratoire sidérurgique : Cas d'El-Hadjar**

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

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



**Figure III.1:**Laboratoire centrale.

### III.2.2. Paramètres physico-chimique analysés :

E général, les paramètres mesurés sont plutôt physico-chimique tel que : TA, TAC, TH, la conductivité, le pH, chlorure, TDS, MES...

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

#### III.2.2.1. Paramètres chimique:

##### ➤ Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence d'hydrogencarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), de carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), d'ions hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ) et d'une façon plus limitée aux ions silicates ( $\text{HSiO}_3^{2-}$ ), phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). [21]

On distingue :

- **Le titre alcalimétrique (TA) :** mesure la teneur en alcalis libres ( $\text{OH}^-$ ) et en carbonates :

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

Il est déterminé par neutralisation à l'aide d'une solution d'acide sulfurique 0,02N.

La phénolphtaléine permet de détecter le point de virage du rose vers l'incolore.

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

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

Il est déterminé également par neutralisation acide jusqu'au virage de l'hélianthine (méthylorange) du jaune au rouge-orangé.

➤ **Le titre hydrotimétrique (TH) :**

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

La détermination du TH est basée sur la formation du complexe entre les alcalino-terreux et le sel de l'acide éthylène-diamine tétra-acétique (EDTA) en présence de noir ériochrome en milieu convenablement tamponné.

**Tableau III.1 :** Caractère des eaux selon le TH.

La dureté (°F)	Caractère de l'eau
TH < 6	Eaux très douces
6 < TH < 15	Eaux douces
15 < TH < 30	Eaux moyennement dures
TH > 30	Eaux très dure

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

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  $T_{Ca^{2+}}$  de l'eau. On parle de même de la dureté magnésienne (ou Titre Magnésien,  $T_{Mg^{2+}}$ ) uniquement dû aux sels de magnésium.

La dureté magnésienne ou titre hydrotimétrique magnésien  $T_{Mg^{2+}}$  est calculé à partir du TH et du  $T_{Ca^{2+}}$ .

$$[Mg^{2+}] = [TH] - [Ca^{2+}] \dots \dots \dots (3)$$

➤ **Teneur en chlorures**

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.

Ils sont dosés en milieu neutre par une solution de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium comme indicateur.

**III.2.2.2-Paramètres physique:****➤ La 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. [22]

**➤ Le Fer**

Le Fer est élément métallique blanc argenté pur à une dureté comprise entre 4 et 5 il est mou, malléable et ductile. Il est facilement magnétisable aux températures ordinaires. Mais difficilement lorsqu'il est chauffé vers 790C° et une masse atomique de 55,845.

**➤ 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 [mm ho/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. [23]

**➤ Le totale des solides dessous (TDS)**

Le TDS signifie le total des solides dissous et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Il est composé de sels inorganique tels que (calcium, magnésium, potassium et sodium) et des carbonates (nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates) ainsi que quelques matières organiques.

Les substances minérales dissoutes dans les eaux naturelles pratiquement toutes plus ou moins ionisées. La salinité totale d'une eau est par définition égale à la somme des cations et des anions contenus dans cette eau [24].

**➤ Potentiel d'hydrogène (pH):**

Le potentiel d'hydrogène est le logarithme décimal de l'inverse de sa concentration en ions d'hydrogène (H<sup>+</sup>), 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 [25].

**Tableau III. 2 :** Classification des eaux d’après leur pH.

PH < 7	Acidité forte
PH = 7	PH neutre
PH > 7	Milieu basique

➤ **Matière en suspension (MES)**

La mesure de MES fournit la quantité de substances non dissoutes. Les Matières en Suspension (MES) correspondent aux particules véhiculées par l’eau. Les MES représentent l’état dispersé. Elles peuvent être de nature minérale (argiles, sables, etc.) ou organique (débris végétaux, biomasse planctonique, etc.). [26]

➤ **Turbidité :**

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l’eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous forme colloïdale en suspension dans les eaux usées. Elle varie suivant les matières en suspension (MES) présentes dans l’eau. [27]

**Tableau III.3 :** Classification des eaux selon la turbidité. [28]

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

**III.2.3. Types d’eaux analysées :**

**III.2.3.1. Eau brute**

L’eau brute désigne l’eau qui n’a subi aucun traitement et qui peut alimenter une station de production d’eau potable [29].

**Prélèvement**

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

**III.2.3.2. Eau industrielle**

L’eau industrielle fait référence à l’eau après traitement primaire.

**Prélèvement**

Le prélèvement des échantillons se fait dans des flacons de plastique d’une capacité de 1L.

**III.2.3.3. Eau adoucie**

L'eau adoucie fait référence à l'eau après le deuxième traitement (production de l'eau industriel).

**Prélèvement**

Le prélèvement des échantillons se fait dans des flacons de plastique d'une capacité de 1L.

**III.3. Détermination des paramètres physico-chimiques :**

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

**III.3.1. Détermination de l'alcalinité**

**(Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet)**

**III.3.1.1.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.

**III.3.1.2. Réactifs :**

- Acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) à 0.02N.
- Phénolphtaléine à 0,5%.
- Méthylorange à 0,5%.

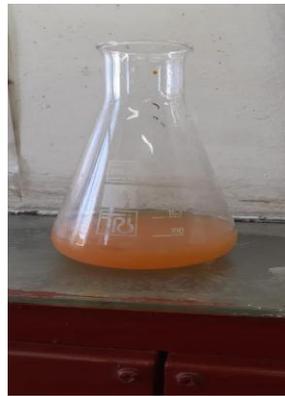
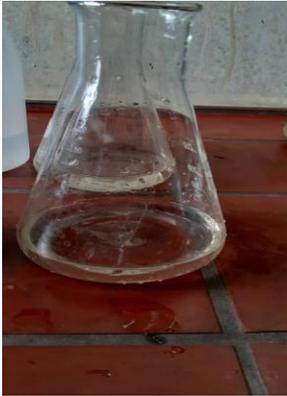
**III.3.1.3. Mode opératoire :****a). Détermination de TA :**

1. On prélève 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmyer ;
2. On ajoute 1 goutte de phénolphtaléine ;
3. Une coloration rose doit alors se développer ; dans le cas contraire le TA est nul ;
4. On verse ensuite lentement l'acide sulfurique dans le erlenmyer à l'aide d'une burette graduée, en agitant constamment jusqu'à décoloration complète de la solution ;
5. On lit directement sur la burette le TA exprimé en degré français (°F).

**b). Détermination de TAC :**

1. On utilise l'échantillon traité précédemment, ou la prise d'essai primitif s'il ya pas eu de coloration ;

2. On ajoute une goutte 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 orange au rouge orange ;
3. On note le volume lu à la burette au moment du nouveau virage.



**Figure III.2:**Dosage volumétrique de TA. **Figure III.3:**Dosage volumétrique de TAC.

**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  $V_2$  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.

$$TA (°F) = V_{TA} (ml) \dots\dots\dots(4)$$

$$TAC (°F) = V_{TAC} (ml) - 0,5 \dots\dots\dots(5)$$

Pour convertir, ensuite, le TA et le TAC en milligrammes de  $CaCO_3$  au litre, on a :

$$1°F = 10mg \text{ de } CaCO_3 /L \dots\dots\dots(6)$$



**Figure III.4:** Montage de dosage volumétrique du TA et TAC.

**III.3.2. Détermination du titre hydrotimétrique TH :****III.3.2.1. Principe :**

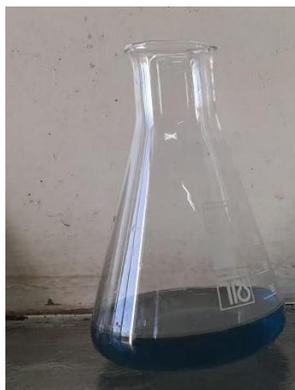
La détermination du TH est basé sur la formation de complexes entre les alcalino-terreux et le sel di-sodique de l'acide éthylène-diamine tétra acétique (EDTA) en présence de noir ériochrome en milieu tamponné.

**III.3.2.2. Réactifs :**

- Acide éthylène diamine tétra-acétique ( $C_{10}H_{16}N_2O_8$ ) : solution à 0.02 N.
- Solution indicateur noir ériochrome.
- Solution basique d'ammoniacale ( $NH_4OH$ ).

**III.3.2.3. Mode opératoire :**

1. On prélève 100ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer ;
2. On verse environ 2ml de la solution ammoniacal ;
3. On ajoute 4 à 5 gouttes de noir ériochrome ;
4. Si la coloration est bleue nous concluons une absence de calcium ( $Ca^{2+}$ ) et magnésium ( $Mg^{2+}$ ) ;
5. si la coloration est rose, nous déduisons une présence de calcium ( $Ca^{2+}$ ) et magnésium ( $Mg^{2+}$ ) dans l'échantillon étudié ; pour ceci, il sera nécessaire de procéder à un titrage avec l'EDTA jusqu'à l'obtention de la coloration bleue ;
6. On lit directement sur la burette le TH exprimé en degré français ( $^{\circ}F$ ).

**Figure III.5:** Absence de  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$ .**Figure III.6:** Présence de  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$ .**III.3.2.4. Expression des résultats :**

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

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



Figure III.7: Montage de dosage volumétrique du TH.

### III.3.3. Dosage de titre calcique ( $T_{Ca^{2+}}$ )

#### III.3.3.1. Principe :

La détermination du  $T_{Ca^{2+}}$  est basée sur la formation de complexes entre les ions calcium et le sel di-sodique de l'acide éthylène-diamine tétra-acétique (EDTA) en présence de calconne carboxylique en milieu tamponné.

#### III.3.3.2. Réactifs :

- Hydroxyde de potassium (KOH) 20%.
- Sel di-sodique de l'acide éthylène diamine tétra-acétique : solution à 0.02 N.
- L'indicateur acide calconne carboxylique.

#### III.3.3.3. Mode opératoire :

1. Prélever 100 ml d'eau à analyser ;
2. Ajouter 2ml de KOH et environ 0.4 g de l'indicateur ;
3. Mélanger et doser immédiatement. Ajouter la solution d'EDTA tout en continuant d'agiter ;
4. Verser lentement en fin de dosage, le virage est atteint lorsque la couleur devient nettement bleue ;
5. On lit directement sur la burette le  $Ca^{2+}$  exprimé en degré français ( $^{\circ}F$ ).

#### III.3.3.4. Expression des résultats :

$V$  : volume de la solution d'EDTA lu à la burette et qui exprime le  $T_{Ca^{2+}}$  en  $^{\circ}F$ . Pour convertir le TH en milligrammes de  $CaCO_3$  au litre, on a :

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



Figure III.8: Montage de dosage volumétrique du  $T_{Ca^{2+}}$

### III.3.4. Dosage de titre de magnésienne ( $T_{Mg^{2+}}$ )

La concentration globale en magnésium est la différence entre le titre hydrotimétrique TH et le titre calcique.

$$[TH] = [T_{Mg^{2+}}] + [T_{Ca^{2+}}] \rightarrow [T_{Mg^{2+}}] = [TH] - [T_{Ca^{2+}}] \dots \dots \dots (7)$$

### III.3.5. Dosage de chlorures ( $Cl^-$ )

#### III.3.5.1. 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.3.5.2. Réactifs :

- Chromate de potassium ( $K_2CrO_4$ ) à 5% (indicateur).
- Nitrate d'argent ( $AgNO_3$ ) à 0.02 N.

#### III.3.5.3. Mode opératoire :

1. Prélever 100 ml d'eau à analyser ;
2. Ajouter 1 ml de chromate de potassium ;
3. Dans le cas où la coloration est rouge brique nous concluons une absence des chlorures ;
4. 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 ;
5. On lit directement sur la burette le volume de nitrate d'argent.

#### III.3.5.4. Expression des résultats :

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

$$\text{Cl}^- (\text{mg/L}) = V_{\text{AgNO}_3} (\text{L}) \times M (\text{Cl}^-) \dots \dots \dots (8)$$

**Figure III.9:** Dosage volumétrique du  $\text{Cl}^-$

### III.3.6. Détermination 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.3.6.1. 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.3.6.2. Le pH mètre :

Le pH mètre est constitué d'une électrode que l'on plonge dans la solution dont on veut connaître l'acidité ; les valeurs du pH s'affiche alors sur l'écran du pH-mètre.

L'électrode doit être bien rincée à l'eau distillée avant chaque mesure et l'appareil doit être régulièrement étalonné pour que les mesures soient fiables.

#### III.3.6.3. Expression des résultats :

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



Figure III.10: pH mètre

**III.3.7. Détermination de la conductivité****III.3.7.1. Principe :**

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

**III.3.7.1. 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.3.7.1. Expression des résultats :**

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

**Figure III.11:** Conductimètre

**III.3.8. Détermination des matières 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. [30]

**III.3.8.1. Principe :**

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

**III.3.8.2. Mode opératoire :**

1. Sélectionner sur le spectrophotomètre le programme d'analyse : MES ;
2. Etalonner l'appareil avant de mesurer l'échantillon ;
3. Prélever dans une cuve l'échantillon d'eau à analyser ;
4. La valeur des MES sera affichée directement sur l'écran de l'appareil.

**III.3.8.3. Expression des résultats :**

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



**Figure III.12:** Spectrophotomètre « Dr 5000 »

**III.3.9. 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. [30]

**III.3.9.1. 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.3.9.2. Mode opératoire :**

1. Etalonner l'appareil avant de mesurer l'échantillon d'eau ;
2. Mesurer la turbidité de l'échantillon ; l'unité usuelle est le nétro-turbidité par unité NTU.

**III.3.9.3. Expression des résultats :**

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



**Figure III.12:** Turbidimètre

**III.3.10. Dosage de fer total****III.3.10.1.Principe :**

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. [30]

**IV. 3.10.2. Réactifs :**

- Phénanthroline.

**IV. 3.10.3. Mode opératoire :**

1. Dans un tube à essais en pyrex prélever 10ml de l'eau à analyser. Ajouter une sachée de phenanthroline (**Figure III.13**) et mélanger soigneusement.
2. Préparer un témoin avec 10 ml d'eau distillée. Ce témoin sera traité dans les mêmes conditions que l'essai. Laisser au repos les deux tubes pendant 3minutes.
3. Enfin effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 510nm

**IV. 3.10.4. Expression des résultats :**

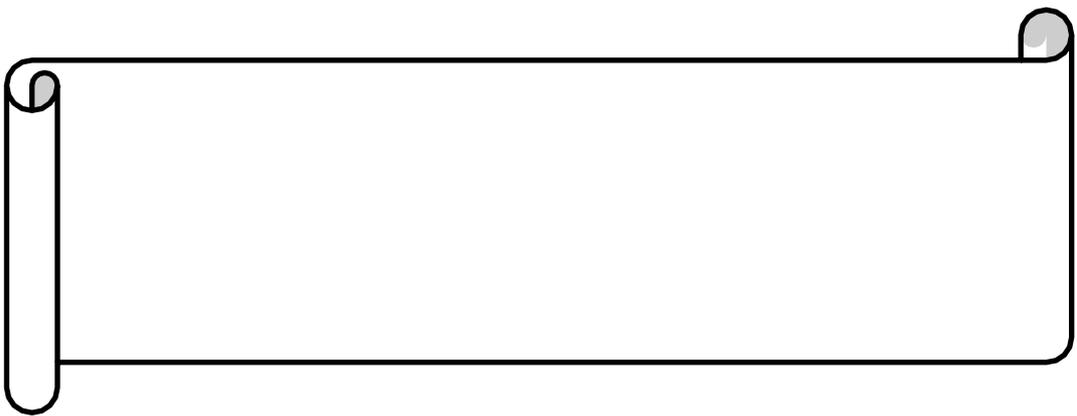
La courbe donne la teneur en fer exprimée en mg /L.



**Figure III.13:** phenanthroline

**III.4. Conclusion :**

L'objectif d'analyses, le contrôle continu de la qualité des eaux des paramètres essentiels, ainsi que le dosage des produits de conditionnement des eaux et prévoir les corrections nécessaires afin de préserver les canalisations et les installations.



### IV.1. Introduction:

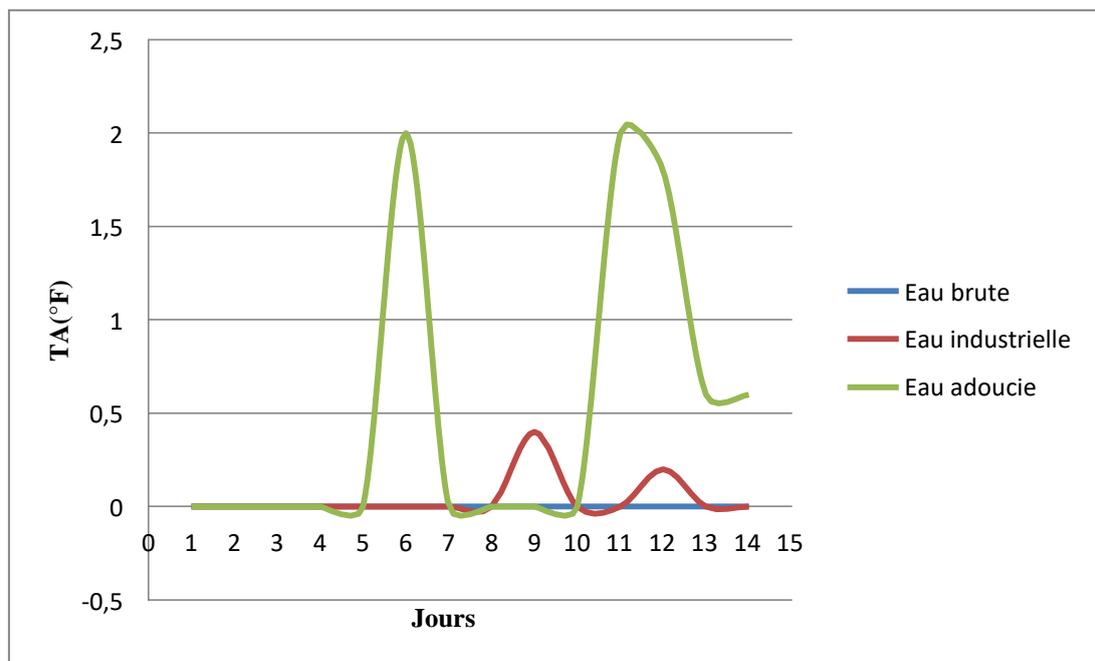
Pour une analyse large des résultats trouvés et enregistrés dans des tableaux et pour savoir plus sur la qualité de l'eau à travers les différentes étapes de traitement, ainsi sur l'efficacité du procédé d'adoucissement, on a tracé les courbes déterminants les différents paramètres de ce traitement.

### IV.2. Variation des paramètres physico-chimiques des eaux (brute, industrielle et adoucie)

Les paramètres physico-chimiques étudiés pour l'analyse de l'eau brute, l'eau industrielle et l'eau adoucie sont représenté dans les figures suivantes afin de voir leur évolution.

#### IV.2.1- Représentation graphique des paramètres :

##### 1) TA :



**Figure IV-1:** Variation du titre alcalimétrie (TA) des eaux (brute, industrielle et adoucie) en fonction de temps

2) TAC :

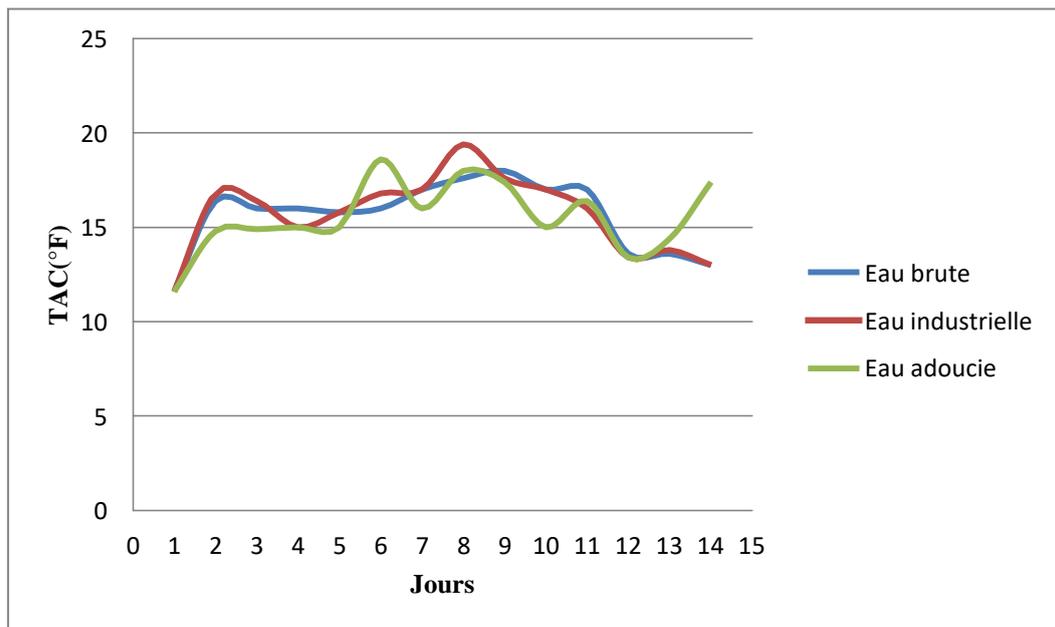


Figure IV-2: Variation du titre alcalimétrie complet (TAC) des eaux (brute, industrielle et adoucie) en fonction de temps

3) TH :

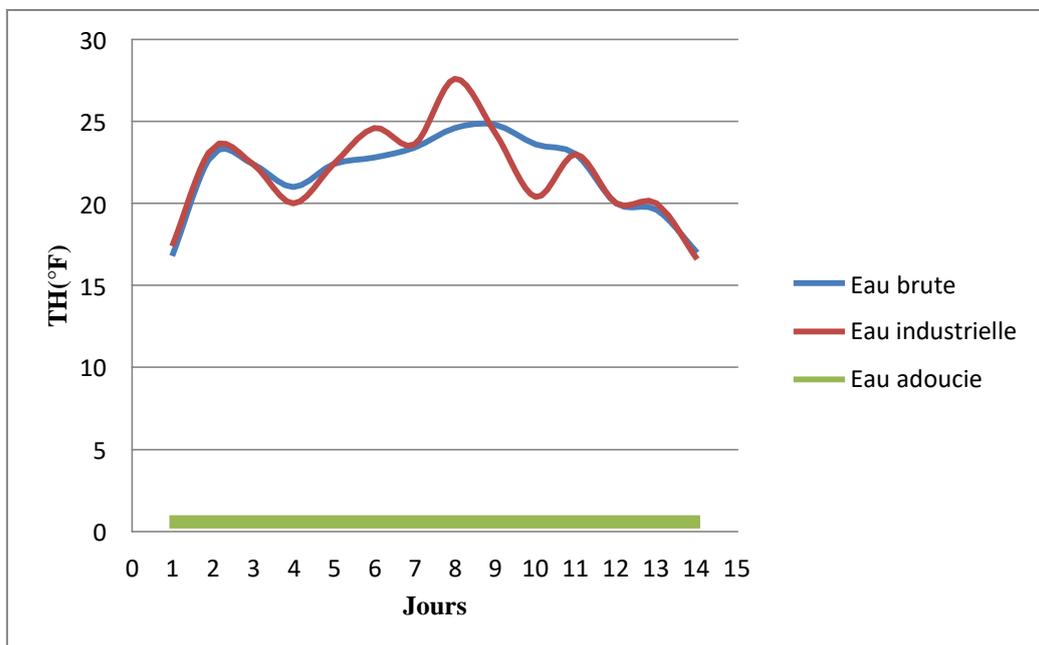


Figure IV-3: Variation de la dureté totale TH des eaux (brute, Industrielle et adoucie) en fonction de temps

4)  $TCa^{2+}$  :

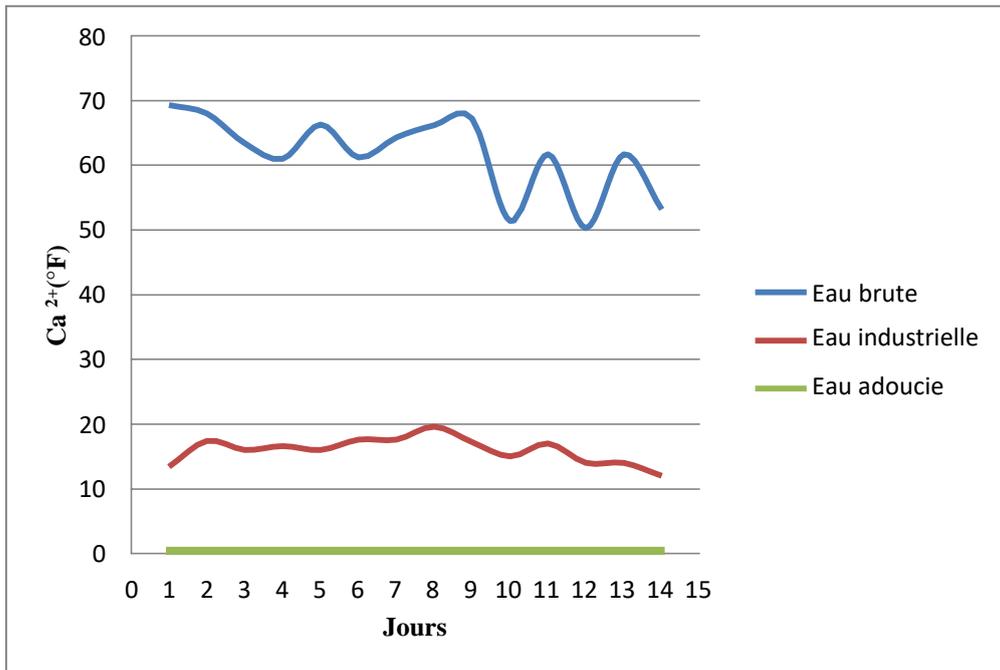


Figure IV-4: Variation de la dureté calcique ( $TCa^{2+}$ ) des eaux (brute, Industrielle et adoucie) en fonction de temps

5)  $TMg^{2+}$  :

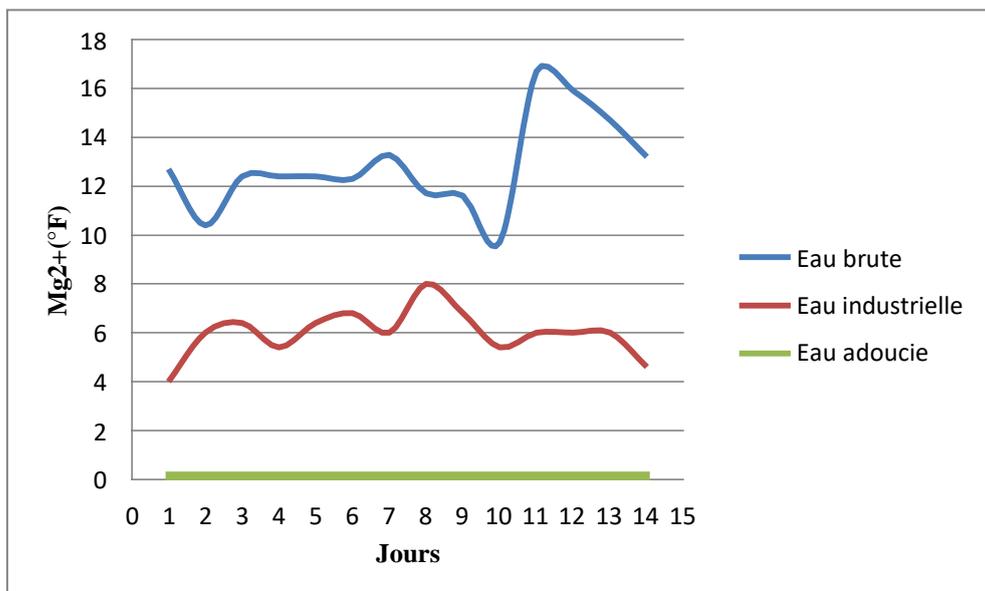


Figure IV-5: Variation de la dureté Magnésienne ( $TMg^{2+}$ ) des eaux (brute, Industrielle et adoucie) en fonction de temps

6) Cl<sup>-</sup> :

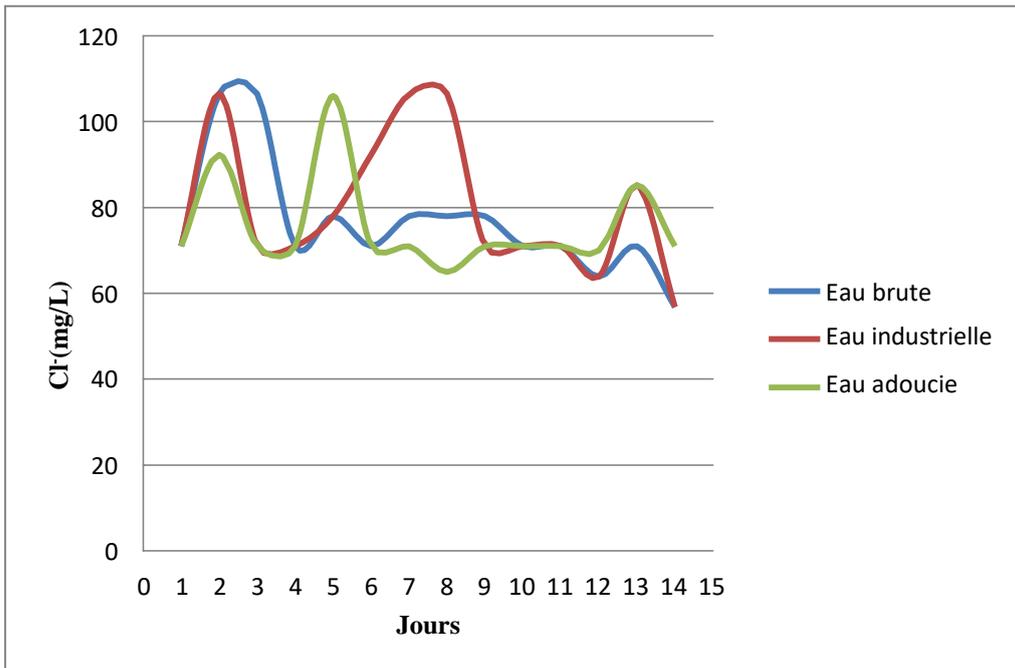


Figure IV-6: Variation des chlorures dans les eaux (brute, industrielle et adoucie) en fonction de temps

7) Le pH:

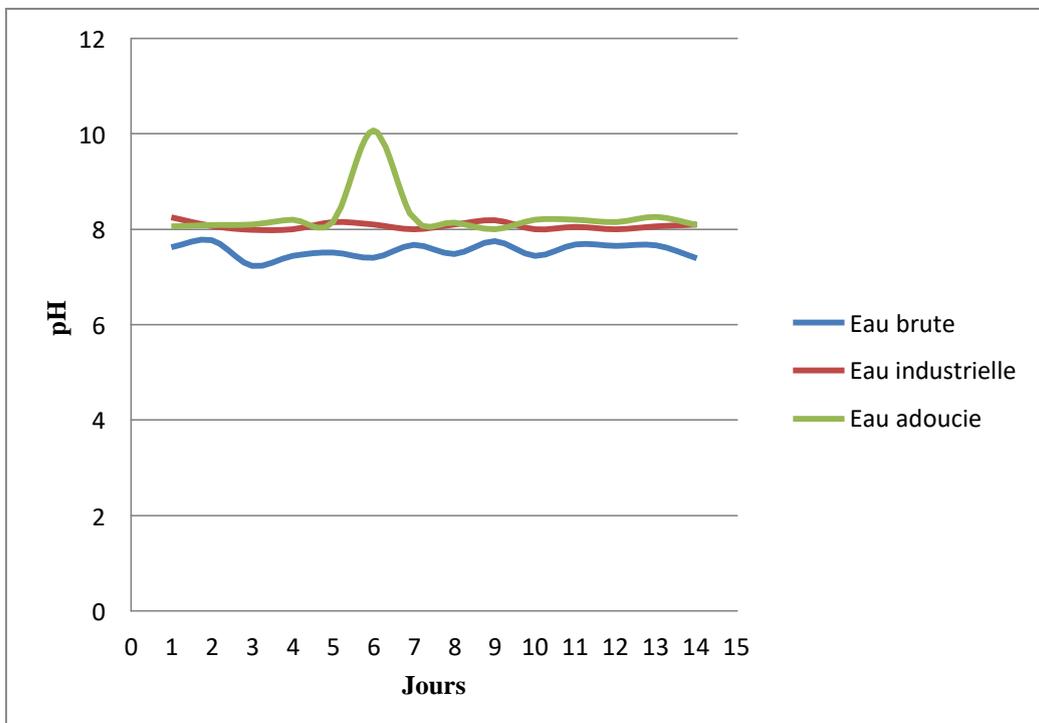


Figure IV-7: Variation du pH des eaux (brute, industrielle et adoucie) en fonction de temps

8) TDS:

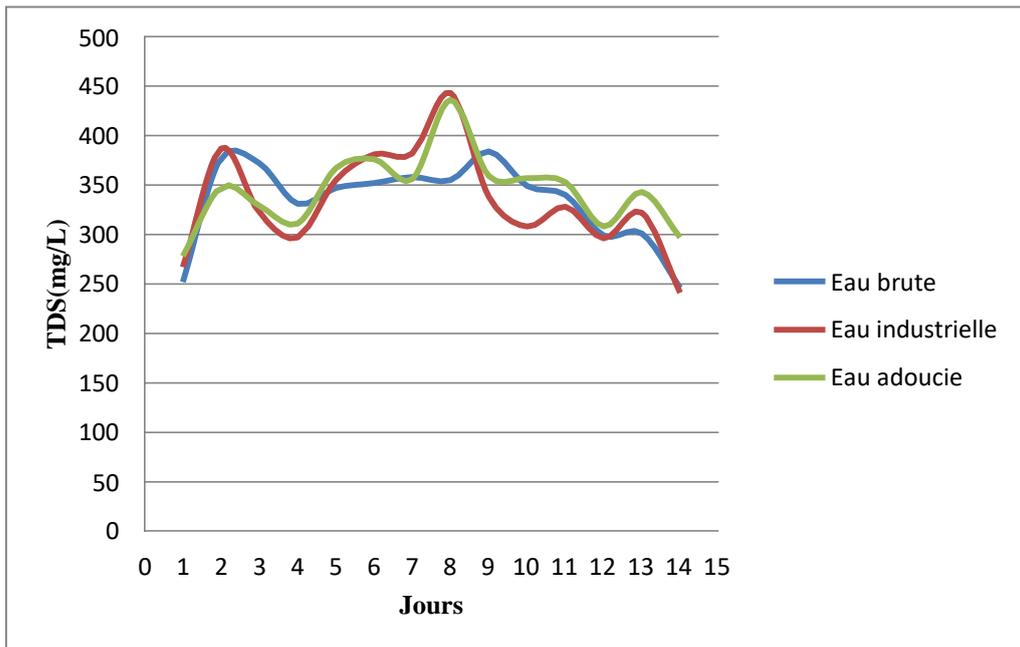


Figure IV-8: Variation de TDS des eaux (brute, industrielle et adoucie) en fonction de temps

9) MES:

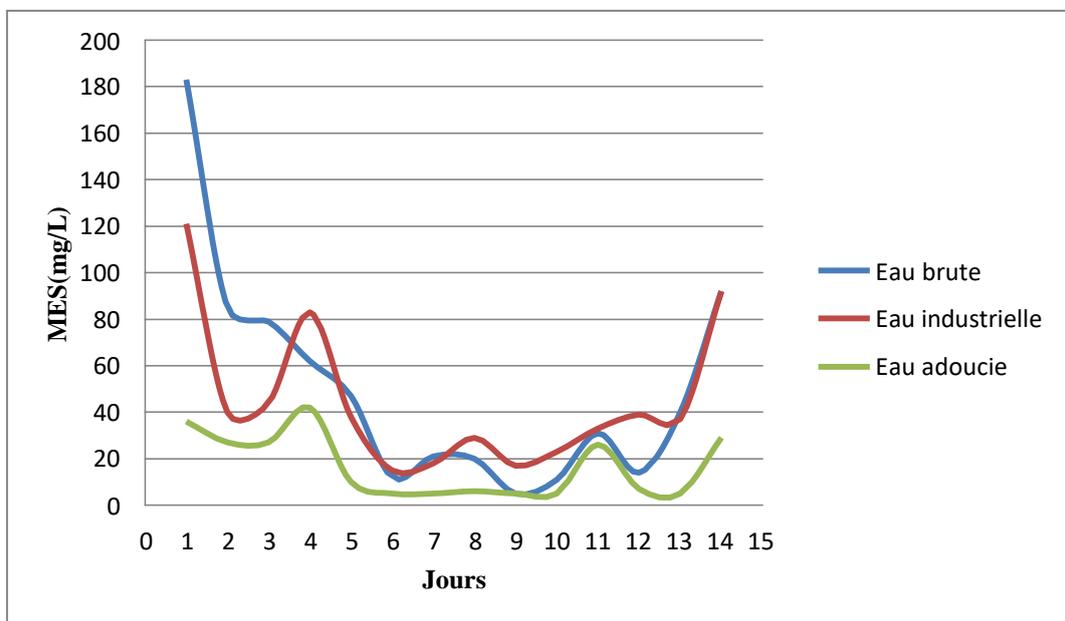


Figure IV-9: Variation de MES des eaux (brute, industrielle et adoucie) en fonction de temps

10) La température:

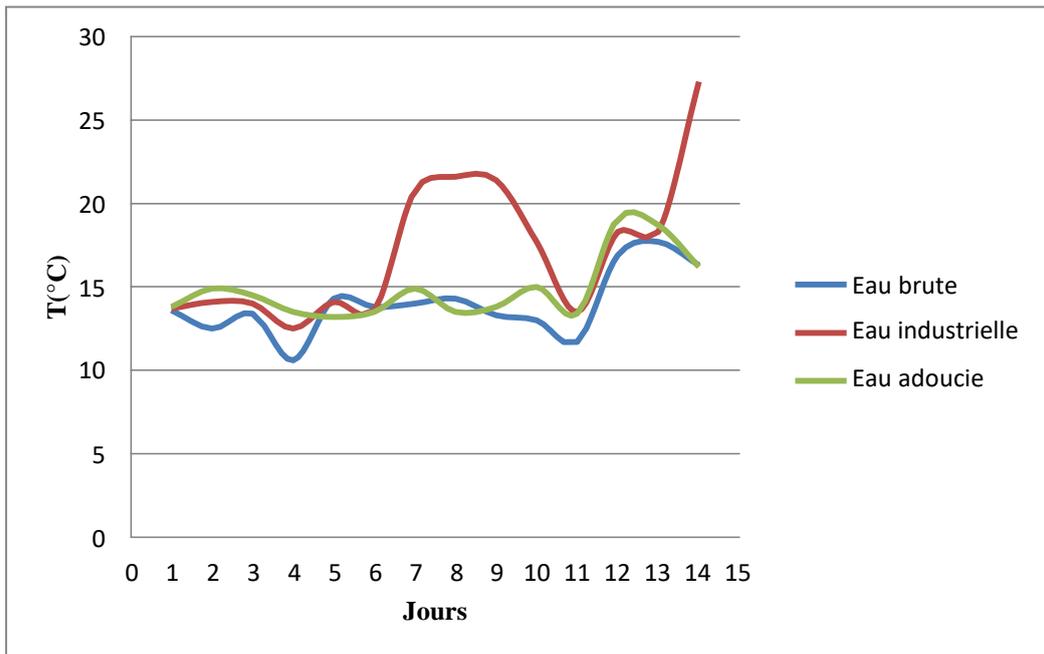


Figure IV-10: Variation de la température des eaux (brute, industrielle et adoucie) en fonction de temps

11) La conductivité:

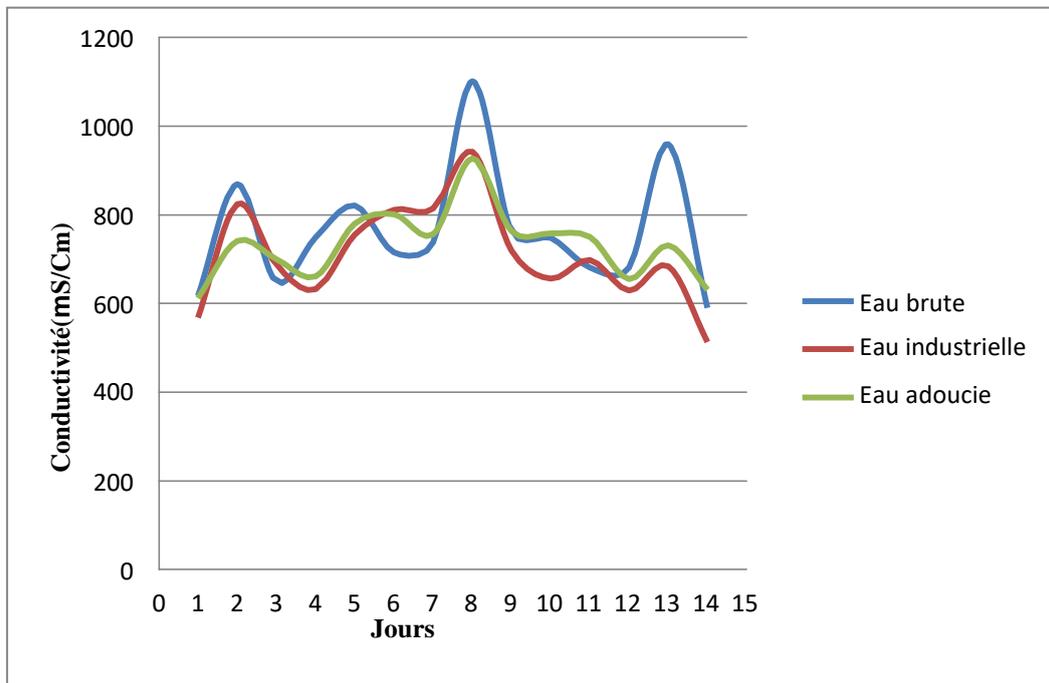
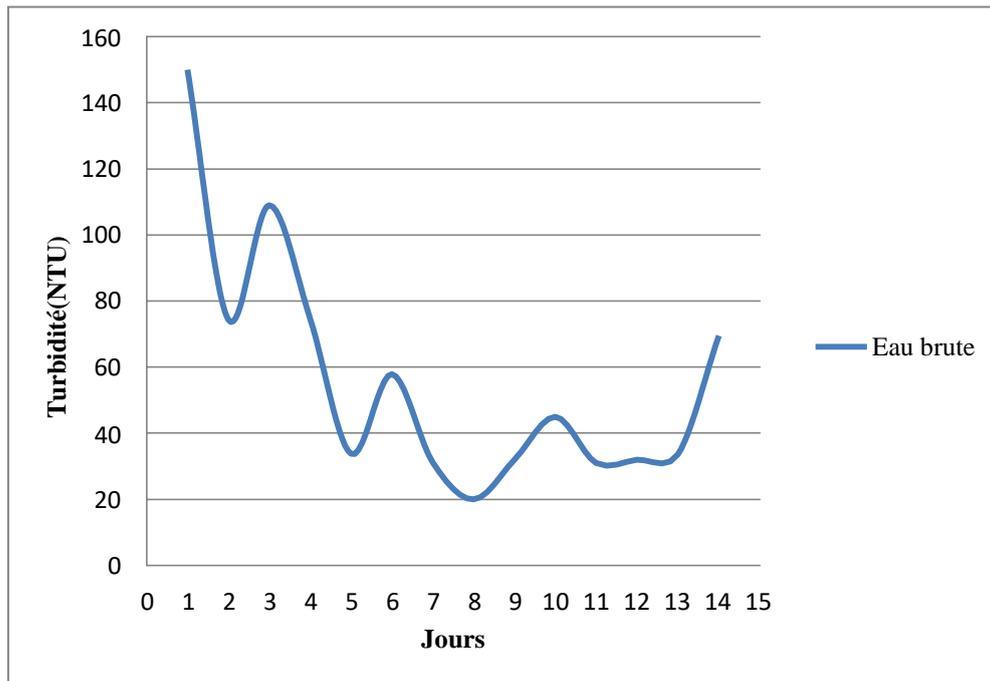


Figure IV-11: Variation de la conductivité des eaux (brute, industrielle et adoucie) en fonction de temps

## 12) La turbidité:



**Figure IV-12:** Variation de la turbidité de l'eau brute en fonction de temps

#### IV.2.2-Discussions des résultats :

Les résultats de TA et TAC permettent de connaître les concentrations de bicarbonates, de carbonates et éventuellement d'hydroxydes contenus dans l'eau.

- ✓ D'après **la figure IV.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, celle de l'eau industrielle et l'eau adoucie dans les normes par les résultats successive (varie de 0 jusqu'à 0,2°F) et entre (0 jusqu'à 2°F).

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

- ✓ **La figure IV.2**, Les résultats d'analyse de TAC pour les trois types d'eaux montrent que les teneurs en bicarbonates prennent des valeurs maximales de 18°F pour l'eau brute, 19,4°F pour l'eau industrielle et 18,6°F pour l'eau adoucie. Ces valeurs dépassent les normes ( $1 < TAC < 2$ ) pour l'eau industrielle. Cette augmentation du titre alcalimétrique complet est peut-être due à des excès de chaux (verser des grandes quantités à la fois). Mais elle est dans les normes pour le cas de l'eau adoucie 40°F).

- ✓ **La figure IV.3**, donne l'allure de la variation de la dureté totale de l'eau brute, de l'eau industrielle et de l'eau adoucie en fonction de la période d'étude. La dureté de l'eau brute est égale à celle de l'eau industrielle (le maximum de la valeur de TH de l'eau brute est de 24,8°F de l'eau industrielle est 24,8°F et de l'eau adoucie est 0,8°F).

On peut dire que l'eau brute est moyennement dure, où les valeurs de TH sont comprises entre 16,8 et 24,8°F. En outre, les valeurs de TH de l'eau industrielle sont comprises aussi entre 16,6 et 24,8°F, donc on peut dire que cette eau aussi est moyennement dure. Par contre, l'eau adoucie est très bonne c'est-à-dire dans les normes parce que les résultats sont comprises entre 0,4 et 0,8°F.

- ✓ La dureté calcique des eaux brutes et industrielles est représentée sur **la figure IV.4**. Les résultats de l'analyse du titre calcique donnent des fluctuations pour les deux types d'eaux. On constate que la teneur en calcium de l'eau brute est supérieure à celle de l'eau industrielle. Mais ces valeurs ne sont pas dans la norme 0-8°F.

Les résultats de l'analyse du titre calcique de l'eau adoucie et dans les normes (0-1°F) c'est à dire bonne traitement.

- ✓ La dureté magnésique des eaux brutes et industrielles est représentée sur **la figure IV.5**. Les résultats de l'analyse du titre magnésique donnent des fluctuations pour les deux types d'eaux. On constate que la teneur en magnésique de l'eau brute est supérieure à celle de l'eau industrielle. Mais ces valeurs ne sont pas dans la norme 1-3°F.

Les résultats de l'analyse du titre calcique de l'eau adoucie et dans les normes (0-1°F) c'est à dire bonne traitement.

- ✓ Suivant **la figure IV.6** qui représente la variation des chlorures dans l'eau, on observe que les deux types d'eau (brute, industrielle) ont la même allure avec un faible écart.

Les valeurs en chlorures dans les deux types d'eau étudiées sont supérieures à la norme 35-60 mg/L. Par contre pour l'eau adoucie est dans les normes <100mg/L.

- ✓ D'après **la figure IV.7** On remarque que les valeurs de pH de tous nos échantillons sont basiques. Cela qui est expliqué par une élévation de température qui engendre une augmentation du CO<sub>2</sub> dissous provoquant ainsi une hausse du pH.

- ✓ On remarque, à partir de **la figure IV.8** qui représente la variation de taux des sels dissous, que l'allure des trois types d'eau est typiquement la même. En effet, leurs minéralisations sont acceptables du moment qu'elles répondent aux normes <400mg/L.

- ✓ D'après **la figure IV.9**, on peut dire que la teneur des matières en suspension dans l'eau brute, industrielle est variable.

Mais dans le cas d'eau adoucie on remarque que les valeurs de MES est entre 5 et 36 mg/L alors ils sont hors normes (<10mg/L). Les teneurs élevées de MES peuvent avoir une incidence sur le développement de la vie aquatique en créant des déséquilibres entre les différentes espèces.

- ✓ La variation de la température des trois types des eaux étudiées est présentée sur **la figure IV.10**.

L'examen de cette figure montre que les températures sont entre 10,5 et 27,3°C. C'est la période de transition entre les périodes froide et chaude. Et c'est conforme aux normes (10 à 27 °C).

- ✓ On observe d'après **la figure IV.11** que les deux types d'eau (brute et industrielle) 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 513 -1101  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . On peut conclure qu'elles ont des propriétés électriques qui sont conformes aux normes (<2800  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ). En effet, une conductivité élevée se traduit soit par des pH anormaux, soit par une salinité élevée.

En remarquant pour l'eau adoucie est dépasser les normes (<500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ).

- ✓ On remarque, à partir de **la figure IV.12** qui représente la variation de la turbidité d'eau brute, que l'eau brute presque toujours trouble (variée entre 20 et 150 NTU).

**IV.3. Conclusion:**

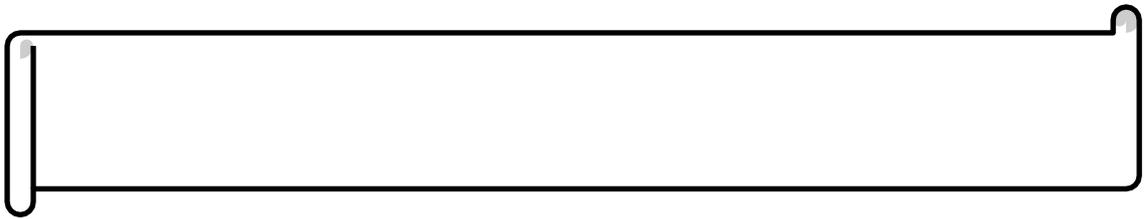
Ce chapitre présente tous les résultats et discussion des graphes des différentes analyses physico-chimiques réalisées au niveau du complexe sidérurgique d'El-Hadjjar-Annaba, destinées pour le suivi net le contrôle de qualité des eaux brutes, des eaux industrielles et de l'eau adoucie pour déterminer et contrôler la qualité des eaux de la zone ACO1.

Les résultats obtenus révèlent des trois types d'eaux à une dureté moyennement, nous avons enregistré également des valeurs basiques de pH pour tous nos échantillons.

Les mesures de TAC de l'eau brute, industrielle dépassent les normes. En revanche, nous avons enregistré pour les mesures de conductivité, de température, et des TDS des valeurs ne dépassant pas la norme.

Dans le but d'avoir une eau distribuée dans l'industrie, l'eau industrielle est ensuite traitée par adoucissement.

D'après les résultats du traitement, on observe que l'eau à un pH basique, teneurs en sels dissous et les autres paramètres tels que le TA, TAC, TH et la conductivité est dans les normes.



## Conclusion générale

Vu la consommation importante de l'eau dans tout le procédé, l'opération d'épuration des effluents constitue un objectif primordial afin de garantir une économie substantielle de l'eau pour sa réutilisation.

Les effluents industriels se trouvent fortement concentrés de polluant d'origine naturelle et synthétique dont la faible biodégradabilité rend les traitements biologiques difficilement applicables.

Le bassin biologique constitue le cœur de l'unité d'épuration et les éléments réactionnels nécessaires à la dégradation de la pollution nécessitent des soins particuliers.

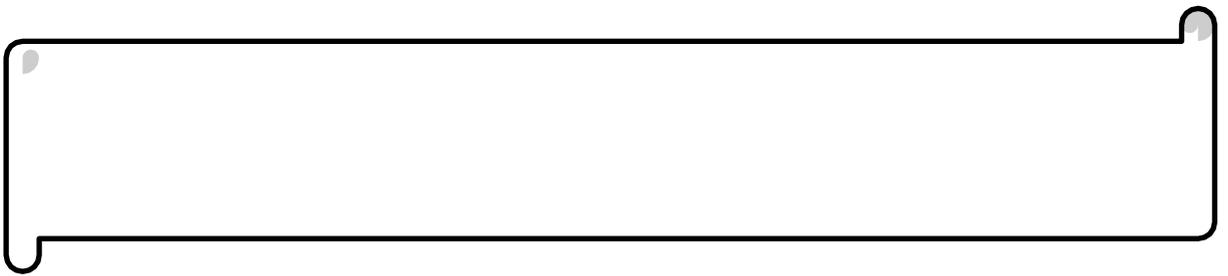
A cet effet notre projet s'est concentré sur « Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux avant et après l'utilisation et production dans l'industrie ». Le dimensionnement effectué sur les unités dans la nouvelle station à la complexe sidérurgique El-Hadjar avant et après traitement montrent que :

- Les titres Alcalinité (Le titre alcalimétrique, Le titre alcalimétrique complet), Le titre hydrotimétrique (Titre calcique  $T_{Ca^{2+}}$  et le titre magnésique  $T_{Mg^{2+}}$ ), Teneur en chlorures, La température, Conductivité, Le totale des solides dissous (TDS), Potentiel d'hydrogène (pH), Matière en suspension (MES), Turbidité sont exigées par les normes.

Les analyses effectuées sur les effluents liquides dans la nouvelle station à la unité D'ACO1 de complexe avant et après traitement montrent que :

- Les pH sont dans la fourchette de neutralité exigée par la norme.-
- Les valeurs de la variation de taux des sels dissous sont dans la norme, à cause de leurs minéralisations sont acceptables du moment.
- Les valeurs de MES est négligeable dans les deux types d'eau (brute, industrielle) mais l'adoucie et dans la norme.

Au vu des résultats trouvés, nous pouvons dire que le fonctionnement de l'unité de traitement des eaux industrielles du complexe sidérurgique El-Hadjar est efficace.



## Référence bibliographique

---

- [1] Document direction générale -SIDER ELHADJAR- Année 2009.
- [2] : cours « chimie des eaux » Dr. SALGHI Rachid ; Ecole Agadir.
- [3]. <http://www.septiemecontinent.com/pedagogie/lesson/eau-liquide-solide-gazeuse/#:~:text=L'%C3%A9tat%20gazeux,oc%C3%A9ans%20lors%20de%20l'%C3%A9vapouration.>
- [4]. Zouag, B ; Belhadj, Y. (2017). Analyse physico-chimique et bactériologique et parasitologique de l'eau de mer traitée par la station de dessalement de Souk Tleta « Tlemcen ». Mémoire de docteur en pharmacie. Université Abou Bekr Belkaid.Tlemcen.
- [5]. <http://www.septiemecontinent.com/pedagogie/lesson/eau-liquide-solide-gazeuse/#:~:text=L'%C3%A9tat%20gazeux,oc%C3%A9ans%20lors%20de%20l'%C3%A9vapouration.>
- [6]. Amrani, Z ; Bouneb, H ; Maafa, W. (2017). Impacte des différents facteurs régissant la qualité de l'eau potables pendant son trajet depuis la station de traitement jusqu'aux différents usagers: cas de quelques quartiers de ville de Guelma. Mémoire de master. Université du 08 Mai 1945.Guelma.
- [7]. <http://doc.lerm.fr/proprietes-physiques-leau/>
- [8]. Graini, A ; Terki, H. (2018). Contrôle et suivi de la qualité de l'eau traitée station de traitement Chaiba-Annaba. Mémoire de master. Université Badji Mokhtar. Annaba
- [9]. Hachmi Rachdi, L. (2019). Cours traitement et dessalement de l'eau. Université Badji Mokhtar. Annaba
- [10].<http://dspace.univghardaia.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/1930/1/Etude%20de%20qualit%C3%A9%20des%20eaux%20de%20consommation%20de%20la%20r%C3%A9gion%20de%20Ghardaia.pdf>
- [11] : cours « traitement et épuration de l'eau » Dr. Bessedik Madani ; Université Tlemcen.
- [12] : Bouziane Amina. Choix d'une méthode de traitement des eaux usées de l'industrie pétrolière cas station de déshuilage HBK Ouargla ; mémoire de fin d'étude ; Université M'hamed bougara de boumerdes ; 2016, p13.

## Référence bibliographique

---

- [13] : Lakhdari Bouazza. Effet de la coagulation-floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz ; mémoire de fin d'étude ; Université Abou Beker Belkaid Tlemcen ; 2011, p14.
- [14] : Raymond Desjardins, Le traitement des eaux, Édition de l'École Polytechnique de Montréal, 317 pages, 1997.
- [15] : Nasri Hania. Contribution à l'étude de l'efficacité de la station d'épuration des eaux usées du complexe corps gras (CO.G.B) Labelle de Bejaïa-Algérie ; mémoire de fin d'étude ; Université Abderrahmane MIRA de Bejaia ; 2013.
- [16] : J.REYNAUD « Concertation par évaporation et recompression mécanique de vapeur », Ed EYROLLES, 1984
- [17] : R.DESJARDINS « le traitement des eaux », Ed de l'école polytechnique de Montréal, 1997.
- [18] : Z.BOUZELIFA et S.MEDJANI. « Analyse et contrôle de la qualité de l'eau adoucie de refroidissement de l'ACO1 (MITTAL STEEL) ». Mémoire de fin d'études. Département génie des procédés, Université BADJI MOKHTAR-Annaba, 2005.
- [19] : Mémento technique de l'eau. Processus élémentaire du Génie physico-chimique en traitement de l'eau. Tome1, 10ème édition, Degrément, mai 2005 p-185.
- [20] : S.KHARACHI et B.ZERARIA « Adoucissement et protection contre la corrosion chaufferie de l'ENCG –ANNABA » Mémoire de fin d'études, Département de génie des Procédés, Université BADJI MOKHTAR-Annaba, 2004.
- [21] Jacques LÉCONTE .Tuyauteries –Protection contre la corrosion, Technique de l'ingénieur, Machines hydrauliques et thermiques.
- [22] M. L. Belghiti, A. CHAHLAOUI, D. Bengoumi, and R. El Moustaine, "Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plioquaternaire dans la région de Meknès (Maroc)," *LARHYSS J. ISSN 1112-3680*, no. 14, 2013.
- [23] S. Merabet, "Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et distribuées du barrage réservoir de Beni Haroun," 2010.
- [24] : R.DJEBABLIA et W.MESSIKH. « Etude et impact de la qualité de l'eau de refroidissement du circuit semi-ouvert de la centrale et utilités II FERTIAL-ANNABA » Mémoire de fin d'études. Département génie des Procédés, Université BADJI MOKHTAR-Annaba, 2008.

## Référence bibliographique

---

[25] 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.

[26]. Hachmi Rachdi, L. (2019). Cours traitement et dessalement de l’eau. Université Badji Mokhtar. Annaba.

[27] : METAHRI Mohammed Saïd, Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes, Cas de STEP Est de ville de Tizi-Ouzou, Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2012, pp 172.

[28]. [www.oieau.fr](http://www.oieau.fr) › ReFEA › fiches › AnalyseEau › Physico\_chimie\_PresGen.

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

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



## Annexes

**Tableau01 : Résultats des analyses de l'eau brute pendant le mois de février, mars de l'année 2023.**

Date	TA (°F)	TAC (°F)	TH (°F)	Tc <sub>a++</sub> (°F)	Mg <sup>++</sup> (°F)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	MES (mg/L)	TDS (mg/L)	tu	T °C	χ (μs/cm) à 20°C	pH
02/02/23	00	11,6	16,8	69,3	12,7	71	183	252	15 0	13,6	617	7,62
05/02/23	00	16,4	23	68	10,4	106,5	85	378	74, 4	12,5	869	7,77
07/02/23	00	16	22,4	63,4	12,4	106,5	79	372	10 9	13,4	648	7,23
12/02/23	00	16	21	61	12,4	71	62	331	74, 7	10,6	749	7,44
14/02/23	00	15,8	22,4	66,3	12,4	78	47	347	33, 8	14,3	821	7,51
19/02/23	00	16	22,8	61,2	12,3	71	12	352	57, 9	13,8	715	7,4
23/02/23	00	17	23,4	64,3	13,28	78	21	358	31, 2	14	738	7,67
26/02/23	00	17,6	24,6	66,2	11,71	78	20	355	20	14,3	1101	7,48
28/02/23	00	18	24,8	67,2	11,61	78	05	384	32	13,3	762	7,75
02/03/23	00	17	23,6	51,4	9,71	71	11	349	45	13	748	7,44
05/03/23	00	17	23	61,7	16,7	71	31	340	31	11,7	681	7,68
12/03/23	00	13,6	20	50,3	15,9	63,9	14	299	32	16,9	681	7,65
14/03/23	00	13,6	19,6	61,7	14,7	71	40	301	33,6	17,7	959	7,66
16/03/23	00	13	17	53,2	13,2	56,8	92	246	69,5	16,3	590	7,39

## Annexes

**Tableau02 : Résultats des analyses de l'eau industrielle pendant le mois de février, mars de l'année 2023.**

Date	TA (°F)	TAC (°F)	TH (°F)	Tc <sub>a++</sub> (°F)	Mg <sup>++</sup> (°F)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	MES (mg/L)	TDS (mg/L)	T °C	χ (μs/cm) à 20°C	pH
02/02/23	00	11,6	17,4	13,4	04	71	121	267	13,7	568	8,25
05/02/23	00	16,8	23,4	17,4	06	106,5	40	387	14,1	824	8,07
07/02/23	00	16,4	22,4	16	6,4	71	44	322	14	687	7,99
12/02/23	00	15	20	16,6	5,4	71	83	297	12,5	632	08
14/02/23	00	15,8	22,4	16	6,4	78	38	355	14,1	755	8,15
19/02/23	00	16,8	24,6	17,6	6,8	92,3	15	381	13,6	811	8,1
23/02/23	00	17	23,6	17,6	06	106,5	18	382	20,8	814	08
26/02/23	00	19,4	27,6	19,6	08	106,5	29	443	21,6	942	8,1
28/02/23	0,4	17,6	24,3	17,2	6,8	71	17	338	21,4	719	8,19
02/03/23	00	17	20,4	15	5,4	71	23	308	17,7	656	08
05/03/23	00	16	23	17	06	71	33	328	13,5	698	8,05
12/03/23	0,2	13,4	20	14	06	63,9	39	296	18,3	629	08
14/03/23	00	14,8	20	14	06	85,2	37	322	18,3	684	8,06
16/03/23	00	13	16,6	12	4,6	56,8	92	241	27,3	513	8,1

## Annexes

**Tableau03 : Résultats des analyses de l'eau adoucie pendant le mois de février, mars de l'année 2023.**

Date	TA (°F)	TAC (°F)	TH (°F)	Tc <sub>a++</sub> (°F)	Mg <sup>++</sup> (°F)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	MES (mg/L)	TDS (mg/L)	T °C	χ (μs/cm) à 20°C	pH
02/02/23	00	11,6	0,6	0,4	0,2	71	36	278	13,8	612	8,06
05/02/23	00	14,8	0,8	0,6	0,2	92,3	27	348	14,9	741	8,09
07/02/23	00	14,9	0,8	0,6	0,2	71	27	329	14,5	700	8,1
12/02/23	00	15	0,8	0,6	0,2	71	42	311	13,5	661	8,2
14/02/23	00	15	0,8	0,6	0,2	106	10	367	13,2	780	8,15
19/02/23	02	18,6	0,6	0,4	0,2	71	05	376	13,5	801	10,0 7
23/02/23	00	16	0,6	0,4	0,2	71	05	356	14,9	756	8,2
26/02/23	00	18	0,6	0,4	0,2	65	06	436	13,5	927	8,14
28/02/23	00	17,4	0,6	0,4	0,2	71	05	359	13,8	763	8
02/03/23	00	15	0,4	0,3	0,1	71	05	357	15	758	8,2
05/03/23	2	16,4	0,6	0,4	0,2	71	26	353	13,4	750	8,2
12/03/23	1,8	13,4	0,4	0,3	0,1	70	07	308	19,1	655	8,15
14/03/23	0,6	14,4	0,4	0,3	0,1	85,2	05	343	18,7	731	8,26
16/03/23	0,6	17,4	0,8	0,6	0,2	71	29	297	16,2	631	8,09

**Figure :** Tableau de calculs de chlore en mg/L

29/11/05

CALCUL DE CHLORE EN mg/litre											
VOLUME	POIDS	VOLUME	POIDS	VOLUME	POIDS	VOLUME	POIDS	VOLUME	POIDS	VOLUME	POIDS
0,1	3,55	2	71	4	142	6	213	8	284	10	355
0,2	7,1	2,1	74,5	4,1	145,5	6,1	216,5	8,1	287,5	10,1	358,5
0,3	10,6	2,2	78	4,2	149	6,2	220	8,2	291	10,2	362,1
0,4	14,2	2,3	81,6	4,3	152,6	6,3	223,6	8,3	294,6	10,3	365,6
0,5	17,7	2,4	85,2	4,4	156,2	6,4	227,2	8,4	298,2	10,4	369,2
0,6	21,3	2,5	88,7	4,5	159,7	6,5	230,7	8,5	301,7	10,5	372,7
0,7	24,8	2,6	92,3	4,6	163,3	6,6	234,3	8,6	305,3	10,6	376,3
0,8	28,4	2,7	95,8	4,7	166,8	6,7	237,6	8,7	308,8	10,7	379,8
0,9	31,9	2,8	99,4	4,8	170,4	6,8	241,4	8,8	312,4	10,8	383,4
1	35,5	2,9	102,9	4,9	173,9	6,9	244,9	8,9	315,9	10,9	386,9
1,1	39	3	106,5	5	177,5	7	248,5	9	319,5	11	390,5
1,2	42,6	3,1	110	5,1	181	7,1	252	9,1	323		
1,3	46	3,2	113,6	5,2	184,6	7,2	255,5	9,2	326,6	12	426
1,4	49	3,3	117	5,3	188	7,3	259	9,3	330		
1,5	53,2	3,4	120	5,4	191,7	7,4	262,7	9,4	333,7	13	461,5
1,6	56,8	3,5	124	5,5	195,2	7,5	266,2	9,5	337,2		
1,7	60,3	3,6	127,8	5,6	198,8	7,6	269,8	9,6	340,8	14	497
1,8	63,9	3,7	131,3	5,7	202,3	7,7	273,3	9,7	344,3		
1,9	67,4	3,8	134,9	5,8	205,9	7,8	276,9	9,8	347,9	15	532,5
		3,9	138,4	5,9	209,4	7,9	280,4	9,9	351,4		