

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté :TECHNOLOGIE.....

Département :GENIE DES PROCEDES.....

Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Filière : GENIE DES PROCEDEES

Spécialité : GENIE DES PROCEDEES DE

L'ENVIRONNEMENT

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**Analyse et contrôle de qualité de l'eau de refroidissement
du circuit four d'unité LRB au niveau du complexe
sidérurgique-El Hadjar**

Présenté par : *Zemouri Hind*

Chouabbia Maroua

Encadrant : *Kermiche Messoude*

MCB

Badji Moukhtar-Annaba

Jury de Soutenance :

Toubal Abdlaziz	Pr	Univ-Annaba	Président
Kermiche Messoude	MCB	Univ-Annaba	Encadrant
Saoudi Fethi	MAA	Univ-Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

REMERCIEMENT

*Louange à ~~ALLAH~~, le miséricordieux qui nous a donné patience et courage afin
d'achever ce travail.*

*Nous remercions tout particulièrement notre promoteur Ms Kermiche Messoude,
Pour l'honneur qu'il nous a fait en nous encadrant, pour l'aide précieuse qu'il nous a
apporté, pour ses remarques et ses conseils avisés, qui nous ont permis
de mener à bien ce travail*

*Nous remercions vivement, toute l'équipe du l'unité LRB pour leur précieuse aide.
A toute personne ayant participé de près ou de loin à notre formation et à tous ceux qui
nous ont apportées leurs soutiens et encouragements durant
La réalisation de ce travail.*

Dédicace

Je dédie ce modeste travail, à ceux qui je ne pourrai remercier assez :

Mon très cher *père*, qui m'a soutenu durant toutes mes études avec
ses conseils et son encouragement pendant les succès et les échecs.

Mon très chère *mère* signe d'amour de respect et de courage.

À mon oncle *SAD* pour leur sacrifice et leur encouragement durant toutes mes études.

À mes sœurs : *Sabrina* et *Rayen* qui ont fourni beaucoup d'effort afin de me
satisfaire.

À toute la famille *ZEMOURI*.

À mes meilleurs amis : *Nadjoua, Amal, Maroua* et *dia*.

*Sans oublier tous mes amis de promotion qui m'ont encouragé à faire ce travail, en
insistant à moi d'oublier toutes fatigues et fournis des efforts pour remporter de succès.*

Et à tous ceux qui m'ont enseigné au long de ma vie scolaire.

JE LES MERCI TOUS.

ZEMOURI HIND

Dédicace

*Je dédie ce travail qui est le fruit de plusieurs années
d'études à mes parents : aucun mot ne saurait témoigner
l'étendu des sentiments et d'amour que j'éprouve à leurs égards.*

*A mes frères : ABD EL RAOUF, ALI, REDOUANE et ma
sœur MANEL pour leur encouragement et leur affection.*

*A mes amis : Hind, AMAL et TOUTA amis d'hier, d'aujourd'hui et de
toujours.*

« A tous mes proches de la famille CHOUABBIAI tous à son nom »

A tous mes collègues de l'université BADJI MOKHTARANNABA.

Et à tous ce qui m'ont enseigné au long de ma vie scolaire.

CHOUABBIA MAROUa

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : présentation d'unité laminoir rond a béton (LRB)

I. L'unité de production laminoir rond à béton.....	2
I.1 Historique de LRB.....	2
I.2 Les différentes productions finis du laminoir.....	3
I.3 Descriptif du laminoir LRB.....	3
I.3.1 Zone four.....	3
I.3.2 Parqe a billette.....	4
I.3.3 Zone atelier rectification des cylindres	4
I.3.4 Salle des pompes.....	5
I.3.5 Zone train de laminage	5
I.3.6 Salle électrique	6
I.3.7 Salle de refroidissement	6
I.3.8 Zone expédition	6
I.4 Le processus de fabrication de ferraille	6
I.5 Le but deb l'unité	7
I.6 Les circuits de refroidissement.....	7

Chapitre II : Traitement des eaux de refroidissement

II.1 Introduction.....	10
II.2 L'obtention de l'eau industrielle à partir de l'eau brute.....	10
II.3 Traitement des eaux de refroidissement	11
II.3.1 Traitement d'eau brute.....	11
II.3.1.1 Prétraitement d'eau brute au niveau du CFL	11
a. Traitement physique.....	11
- Le dégrillage.....	11
- Le débouage.....	11
- Le dessablage.....	11
b. Traitement chimique	11
- La coagulation et la floculation.....	11
- La décantation	11
- La flottation.....	12
- Filtration sur sable	12

II.3.2 Traitement d'eau industrielle (l'adoucissement).....	13
II.3.2.1. Principe de fonctionnement de l'adoucisseur.....	13
II.3.2.2 L'échange ionique	14
II.3.3 La régénération.....	14
II.3.3.1 Les étapes de la régénération	15
a. Détassage.....	15
b. Aspiration de la saumure.....	15
c. Rinçage lent	15
d. Rinçage rapide.....	15
II.3.3.2 Méthode de régénération	18
• Régénération à contre-courant.....	18
• Régénération à co-courant	18
❖ Les avantages de la régénération à contre-courant	19
II.4 Problèmes liés à la qualité des eaux de refroidissement	19
II.4.1 La corrosion	19
II.4.2 L'entartrage	20
II.4.2.1 Conséquences de l'entartrage.....	20
II.4.2.2 Causes de l'entartrage	21
II.4.3 L'encrassement biologique	22
II.4.4 Les prolifération organique	22
II.5 Conclusion	23

Chapitre III : Techniques et procédés de refroidissement

III.1 Introduction.....	24
III.2 Définitions.....	24
III.2.1 La chaleur résiduelle	24
III.2.2 L'appoint.....	24
III.2.3 La purge de déconcentration.....	24
III.2.4 Le panache.....	24
III.2.5 Les entraînements vésiculaires.....	25
III.2.6 Réfrigérant atmosphérique.....	25
III.3 Système de refroidissement	25
III.4 Les types de refroidissement	25
III.4.1 Les Circuits ouverts.....	25

III.4.2 Les Circuits fermés.....	26
III.4.3 Les Circuits semi-ouverts.....	26
III.5 Définition d'une tour de refroidissement.....	27
III.6 Principe de fonctionnement circuit de refroidissement	28
III.7 Eléments constitutifs d'une tour de refroidissement	28
III.7.1 Un système de distribution d'eau (rampes de pulvérisation).....	28
III.7.2 Le corps d'échange.....	29
III.7.3 Le pare pare-gouttelettes.....	29
III.7.5 Le ventilateur	30
III.8 Les différents procédés de refroidissement	30
III.8.1 Refroidissement évaporatif.....	30
III.8.2 Refroidissement sec (à air)	31
III.9 Conclusion	31

Chapitre IV : Partie pratique

IV.1 Problématique	32
IV.2 Présentation du laboratoire sidérurgique.....	32
IV.2.1 Laboratoire des huiles.....	32
IV.2.2 Laboratoire de spectroscopie.....	32
IV.2.3 Laboratoire de matière première.....	32
IV.2.4 Laboratoire des eaux	32
IV.3 L'eau étudiée	33
IV.4 Paramètres physico-chimiques à analysées.....	33
IV.4.1 Alcalinité	33
IV.4.2 La dureté totale	33
IV.4.3 La teneur en chlorure	33
IV.4.4 Potentiel d'hydrogène.....	34
IV.4.5 Conductivité.....	34
IV.4.6 Turbidité	34
IV.4.7 Taux de salinité	34
IV.5 Détermination des paramètres physico-chimiques.....	34
IV.6.1 Détermination du titre hydrométrique(TH).....	34
IV.6.1.1 Principe.....	34

IV.6.1.2 Mode opératoire.....	35
IV.6.1.3 Expression des résultats.....	35
IV.6.2 Détermination de l'alcalinité (TA-TAC).....	35
IV.6.2.1 Principe.....	35
IV.6.2.2 Mode opératoire.....	35
IV.6.2.2.a Détermination de TA.....	35
IV.6.2.2.b Détermination de TAC.....	36
IV.6.2.3 Expression des résultats.....	36
IV.6.3 Détermination du titre calcique.....	36
IV.6.3.1 Principe.....	36
IV.6.3.2 Mode opératoire.....	36
IV.6.3.3 Expression des résultats.....	37
IV.6.4 Dosage du chlorure	37
IV.6.4.1 Principe.....	37
IV.6. 4.2 Mode opératoire	37
IV.6.4.3 Expression des résultats.....	37
IV.6.5 Détermination du PH.....	37
IV.6.5.1 Principe	37
IV.6.5.2 Le PH mètre	37
IV.6.5.3 Expression des résultats.....	38
IV.6.6 Détermination de conductivité.....	38
IV.6.1 Principe.....	38
IV.6.6.2 Le conductimètre	38
IV.6.6.3 Expression des résultats.....	38
IV.6.7 Détermination des MES.....	39
IV.6.7.1 Principe.....	39
IV.6.7.2 Mode opératoire.....	39
IV.6.7.3 Expression des résultats.....	39
IV.7 Analyse des paramètres physico-chimiques.....	40
IV.7.1 Analyse du titre alcalimétrique complet (TAC).....	40
IV.7.2 Analyse du titre hydrométrique (TH).....	41
IV.7.3 Analyse du titre calcique Tca^{++}	42
IV.7.4 Analyse du titre magnésien TMg^{++}	43

IV.7.5 Analyse des ions chlorure.....	43
IV.7.6 Analyse de potentiel d'hydrogène (PH)	44
IV.7.7 Analyse de teneur des matières en suspension (MES).....	45
IV.7.8 Analyse de la conductivité	45
IV.7.9 Analyse de taux de salinité.....	46
IV.7.10 Analyse de la température.....	47
IV.8 Système de refroidissement	47
IV.9 Circuit de refroidissement	48
IV.9.1 Compositions de circuit de refroidissement	48
IV.9.2 Description de circuit four (ICW).....	48
IV.10 Conclusion	50
IV.11 Conclusion générale	51

Liste des tableaux

Tableau IV.1: Classes de turbidité (NTU).....	page 34
Tableau IV.2: Spécification techniques de l'adoucisseur.....	page 47
Tableau IV.3: Spécification techniques de la résine.....	page 48
Tableau IV.4 : Spécification techniques.....	page 49

Liste des figures

Figure I.1 : La situation de LRB dans le complexe SIDER EL-HADJAR.....	Page 0 2
Figure I.2 : Four d'unité LRB.....	Page 0 4
Figure I.3 : Salle des pompes LRB.....	Page 0 5
Figure I.4 : Billettes a la sortie du four.....	Page 0 5
Figure I.5 : Rond à béton (ferraille).....	Page 0 6
Figure I.6 : Circuit de refroidissement des cages (DCW).....	Page 0 8
Figure I.7 : Circuit de refroidissement Thermex (DCW).....	Page 0 8
Figure I.8 : Circuit de refroidissement four (ICW).....	Page 0 9
Figure II.1 : Conduite d'arrivée d'eau.....	Page 10
Figure II.2 : Décanteur de l'unité CFL du complexe sidérurgique d'EL –HADJAR.....	page 12
Figure II.3 : Filtre à sable.....	Page 13
Figure II.4 : Principe de fonctionnement d'un adoucisseur	Page 14
Figure II.5 : Schéma de détassage.....	Page 15
Figure II.6 : Schéma d'aspiration saumure	Page 16
Figure II .7 : Schéma d'un rinçage lent.....	Page 17
Figure II.8 : Schéma d'un rinçage rapide.....	Page 18
Figure II.9 : La corrosion.....	Page 20
Figure II.10 : L'entartrage dans le circuit de refroidissement.....	Page 21
Figure III.1 : Circuit ouvert.....	Page 26
Figure III.2 : Circuit fermé.....	Page 26
Figure III.3 : Circuit semi-ouvert.....	Page 27
Figure III.4 : Tour de refroidissement.....	Page 28
Figure III.5 : Rampe de dispersion.....	Page 29
Figure III.6 : Paking.....	Page 29
Figure III.7 : Par-gouttelettes.....	Page 30
Figure III.8 : Schéma représentatif d'un système de refroidissement.....	Page 30
Figure IV.1 : Présence de Ca^{2+} et Mg^{2+}	Page 35
Figure IV.2 : Absence de Ca^{2+} et Mg^{2+}	Page 35
Figure IV.3 : Dosage volumétrique de TAC.....	Page 36
Figure IV.4 : PH-mètre.....	Page 38

Figure IV.5 Conductimètre.....	Page 38
Figure IV.6 : Spectre H Dr 5000	Page 39
Figure IV.7 : Variation du titre alcalimétrique en fonction de temps	Page 40
Figure IV.8 : Variation de dureté totale TH de l'eau adoucie en fonction du temps.	Page 41
Figure IV.9 : Les variations journalières du titre calcique en fonction du temps.....	Page 42
Figure IV.10 : La variation du teneur en magnésium en fonction du temps.....	Page 43
Figure IV.11 : Les variations des ions Cl en fonction du temps	Page 43
Figure IV.12 : Les variations du pH en fonction du temps.....	Page 44
Figure IV.13 : la variation des matières en suspension d'eau adoucie en fonction du temps.....	Page 45
Figure IV.14 : Les variations de la conductivité en fonction du temps.....	Page 45
Figure IV.15 : Evolution de taux de salinité d'eau adoucie en fonction du temps	Page 46
Figure IV.16 : Profil de température.....	Page.47
Figure IV.17: schéma du circuit de refroidissement four(ICW).....	Page 49

Liste des Abréviations

ACE	l'aciérie électrique
ACO2	l'aciérie à oxygène N°2
LRB	Laminoir rond à béton
CFL	Le centre de fluide liquide
MES	Matière en suspension
TH (°f)	Titre Hydrométrique par degré français (la dureté totale)
TA	Titre alcalimétrique
TAC	Titre alcalimétrique complet
PH	Potentiel d'hydrogène
T (° C)	Température par degré Celsius
C (µs/cm)	Conductivité par unité Néphrélométrique
ICW	Indirect cooling water
DCW	direct cooling water

Résumé

Les opérations de refroidissement sont largement utilisées dans la plus part des industries, notamment dans l'industrie chimique et pétrochimique.

Généralement, le choix des eaux de refroidissement est déterminé par les quantités et la qualité requises de ces eaux. C'est pourquoi l'eau utilisée subie une série de traitements, destinés à améliorer sa qualité afin éviter certains nombres de problèmes.

L'objectif de notre travail a été de faire une étude de contrôle de la qualité de l'eau industrielle destinée à alimenter le circuit de refroidissement dans l'unité de laminoir rond à béton au sein du Complexe Sidérurgique d'El Hadjar à Annaba.

Nous avons fait une étude qualitative notamment pour les paramètres physico-chimiques tels que : la dureté (TH), l'alcalinité (TA, TAC), le pH, les matières en suspension (MES), la salinité (conductivités et TDS), les chlorures (Cl⁻) et la température. Les analyses de ces paramètres ont été faites au niveau de laboratoire central du complexe.

ملخص

تستخدم عمليات التبريد على نطاق واسع في معظم الصناعات، خاصة في الصناعات الكيماوية والبتروكيماوية.

بشكل عام، يتم اختيار مياه التبريد من خلال معرفة الكميات المطلوبة ونوعية هذه المياه. ولهذا السبب تخضع المياه المستخدمة لسلسلة من المعالجات، تهدف إلى تحسين جودتها من أجل تجنب عدد معين من المشاكل.

كان الهدف من عملنا إجراء دراسة لضبط جودة المياه الصناعية بهدف تزويد دائرة التبريد في وحدة درفلة الخرسانة المستديرة داخل مجمع الحجار للصلب في عنابة.

لقد أجرينا دراسة نوعية على وجه الخصوص للمعاملات الفيزيائية والكيميائية مثل: الصلابة، القلوية، الأس الهيدروجيني، المواد الصلبة العالقة، الملوحة (الناقلية، كمية الأملاح المذابة) الكلوريدات و درجة الحرارة. تم إجراء تحاليل هذه المعلمات على مستوى المخبر المركزي للمجمع.

Abstract

Cooling operations are widely used in most industries, especially in the chemical and petrochemical industry.

Generally, the choice of cooling waters is determined by the required quantities and quality of these waters. This is why the water used undergoes a series of treatments, intended to improve its quality in order to avoid certain numbers of problems.

The objective of our work was to make a study of control of the quality of the industrial water intended to supply the cooling circuit in the unit of round concrete rolling mill within the steel complex of El Hadjar in Annaba.

We carried out a qualitative study in particular for physic-chemical parameters such as: hardness TH, alkalinity TA, TAC, PH, suspended solids MES salinity conductivity and TDS, chlorides cl⁻ and temperature. These analyzes of these parameters were made at the central laboratory level of the complex.

Introduction générale :

L'eau de refroidissement est largement utilisé dans la plus part des industries des pays développés, en particulier dans les centrales thermique ou nucléaire pour condenser la vapeur, dans la sidérurgie pour le refroidissement des installations servant à la fabrication de la fonte et de l'acier. Cette utilisation représente une quantité d'eau importante, par exemple : pour le refroidissement et la production d'une tonne rond à béton, on utilise 150 tonne d'eau. Au total cette consommation pour le monde entier.

Les systèmes de refroidissement sont fondés sur les principes de la thermodynamique. Ils facilitent les échanges de chaleur entre le fluide et le réfrigérant ainsi que le rejet de la chaleur non récupérable dans l'environnement. Les systèmes de refroidissement industriel peuvent être classés selon leur conception et le type de réfrigérant utilisé: eau ou air.

Dans ce contexte, nous avons étudié le refroidissement des rond à béton au niveau de laminoir rond à béton (LRB) du complexe sidérurgique d'El Hadjar. Cette unité, utilise l'eau pour refroidir le système. L'eau avant son introduction dans le circuit de refroidissement doit obéir aux spécifications requises, c'est pourquoi un contrôle continu de sa qualité est effectuer au niveau de LRB.

En effet, dans le cas contraire plusieurs problèmes peuvent avoir lieu, à titre d'exemples la corrosion, l'entartrage....

Dans le traitement des eaux de refroidissement, nous faisons appel à des opérations de nature physique allant de dégrillage jusqu'au le débouillage et également à des opérations de nature chimique, passant par la coagulation, la floculation ...jusqu'à l'adoucissement.

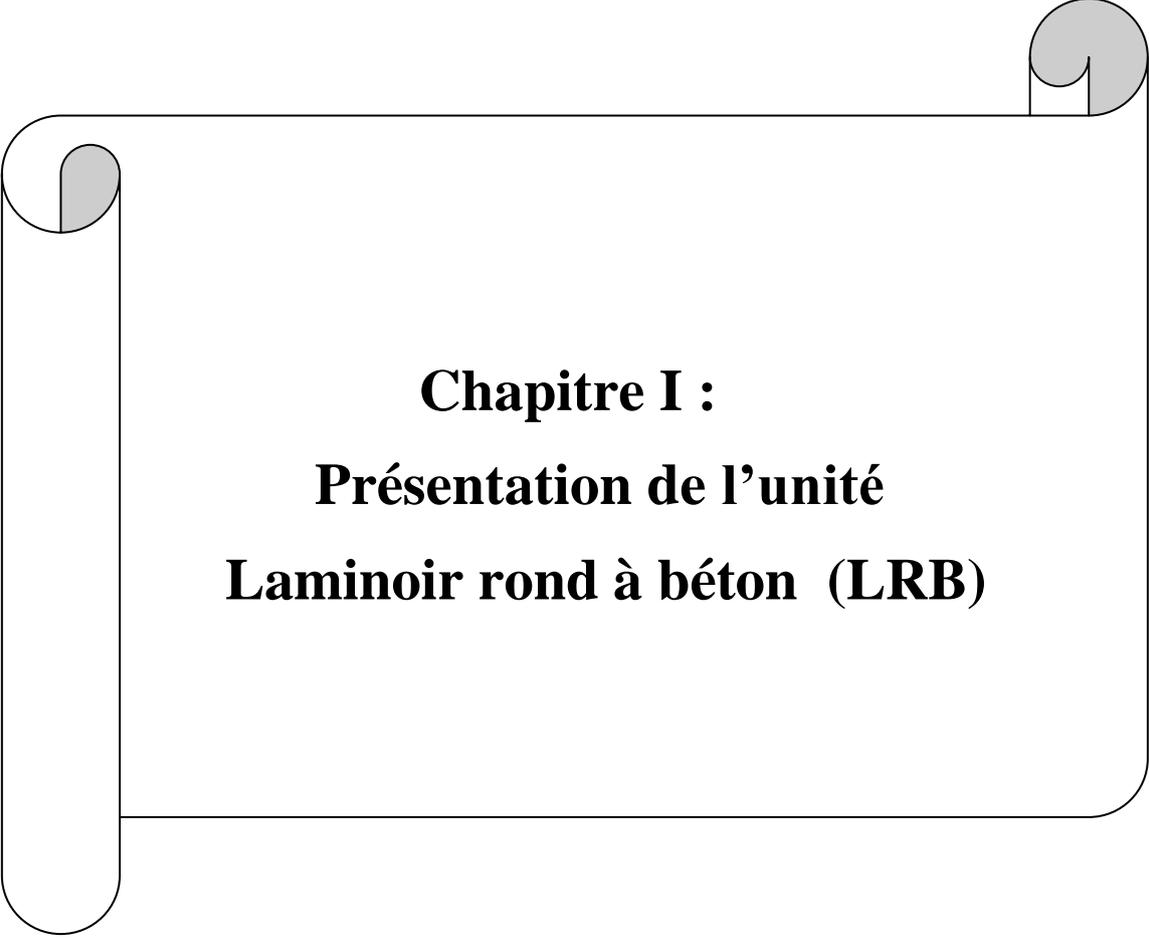
Ce mémoire est structuré en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous avons décrit la Présentation de l'unité laminoir rond à béton (LRB).

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté le traitement des eaux de refroidissement et les Problèmes liés à la qualité des ces eaux.

Dans le troisième chapitre, nous avons exposé les techniques et les procédées de refroidissement.

Dans le quatrième chapitre nous avons effectué le contrôle de qualité de l'eau de refroidissement et les interprétations sur les résultats.

A decorative graphic of a scroll with a black outline and grey shading on the rolled-up ends, framing the text.

Chapitre I :
Présentation de l'unité
Laminoir rond à béton (LRB)

Chapitre I : Présentation de l'unité laminoir rond à béton (LRB)

I. L'unité de production Laminoir Rond à Béton :

I.1 Historique de LRB :

Le laminoir rond à béton(LRB) est le dernier né de complexe Arcelor-Mittal Annaba. Réalisé dans un temps record avoisinant une année, toutes opération confondues (génie civil et montage) réalisées par une main d'œuvre Algérienne avec comme support ingeneering un bureau d'étude étranger et un groupe de jeune Algérien issue de l'unité LFR. La première billette est passée par le train de laminage le 16/12/2003 à 21h15. Le LRB est une usine fabriquée par la firme italo-autrichienne : VAI POMINI.

Le LRB par définition est le laminoir rond à béton qui à pour matière première la billette qui est une section carrée de métal 130*130*12000 mm.

Pour la transformer en différents produit fini de rond à béton et fer rond de section différente. [1]

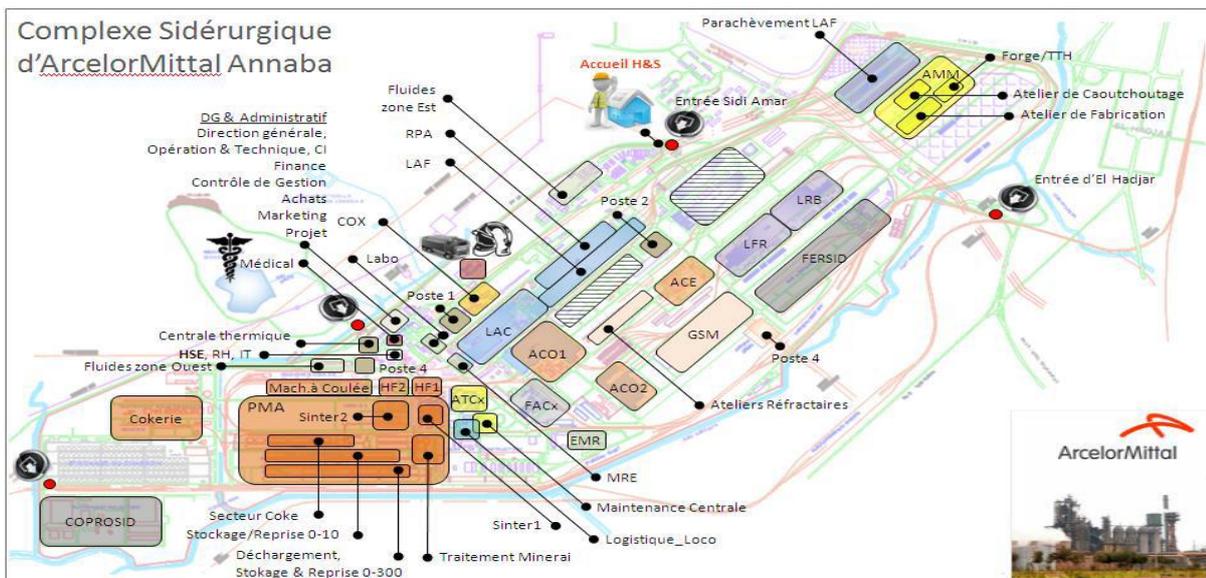


Figure I.1: La situation de LRB dans le complexe SIDER EL-HADJAR.

I.2 Les différentes productions finis du laminoir:

Le laminoir produit les différents diamètres possible et existant au marché international:

- **Diamètre RB08** 08mm par 12000mm ou 08mm par 6000mm, Réalisable mais difficilement. (Le LFR le produit).
- **Diamètre RB10** 10mm par 12000mm ou 10mm par 6000mm.
- **Diamètre RB12** 12mm par 12000mm ou 12mm par 6000mm.
- **Diamètre RB14** 14mm par 12000mm ou 14mm par 6000mm.
- **Diamètre RB16** 16mm par 12000mm ou 16mm par 6000mm.
- **Diamètre RB20** 20mm par 12000mm ou 20mm par 6000mm.
- **Diamètre RB25** 25mm par 12000mm ou 25mm par 6000mm.
- **Diamètre RB32** 32mm par 12000mm ou 32mm par 6000mm.
- **Diamètre RB50** 50mm par 12000mm ou 50mm par 6000mm.

I.3 Descriptif du laminoir LRB :

L'unité LRB comprend plusieurs zones :

- Zone four
- Zone Atelier rectification des cylindres
- Zone Salle des Pompes
- Parc a billette
- Zone Salle Electrique
- Zone train de laminage
- Zone expedition
- Zone de refroidissement

I.3.1 Zone four : Le four est de type à longerons mobiles qui assure l'avancement des billettes.

Le four est divisé à l'intérieur en deux par un mur de séparation entre la zone de préchauffage et la zone de réchauffage afin de limiter le pliage des billettes et les pertes d'écailles, en évitant le rayonnement des zones à températures élevé, le four est composé en quatre zones :

1- zone de préchauffage (avec 6 bruleurs) / $T^{\circ} = 800^{\circ} c$

2- zone de réchauffage (avec 6 bruleurs) / $T^{\circ} = 1040^{\circ} c$

3- zone de normalisation gauche (avec 6 bruleurs) / $T^{\circ} = 1120-1150^{\circ} \text{ c}$.

4- zone de normalisation droite (avec 6 bruleurs) / $T^{\circ} = 1120-1150^{\circ} \text{ c}$.

La billette passe 1h : 30 pour être fin prête au laminage (temps de séjour).

La billette est défournée (sortie du four) à l'aide d'une tige défourneuse.

La combustion à l'intérieur des fours est assurée par le gaz naturel et l'air ambiant dans les 48 bruleurs que comporte le four.



Figure I .2: Four d'unité LRB

NB : le four LRB est automatisé à 100%.

I .3.2 Parque a billette : Un espace de stockage de la matière première (la billette) coulée au niveau de l'aciérie à oxygène N°2 (ACO2) et l'aciérie à arc électrique(ACE), acheminée par voie ferroviaire en outre par certain temps le LRB importe la billette de l'étranger.

La capacité de stockage est de 4000 tonnes au minimum.

I .3.3 Zone atelier rectification des cylindres : C'est l'atelier de préparation et réparation de tout matériel liée a la production, tel que cage, guide cylindre...etc.

I .3.4 Salle des pompes : c'est la station qui regroupe les bâches à eau, les aéroréfrigérants pour refroidissement des eaux, et les pompes qui refoulé l'eau des trois circuits dont l'objectif est refroidissement des installations à savoir le four, les cylindres, les centrales hydrauliques ...etc.



Figures I .3 : salle des pompes LRB

I .3.5 Zone train de laminage : A la sortie du four la billette passe par une voie à rouleau pour être acheminée vers le train de laminage.



Figure I .4 : Billette à la sortie du four

Le train de laminage est composé de 16 cages de laminage et guide.

La cage de laminage : c'est un ensemble mécanique composé de palier est cylindre ainsi que des vis de réglage et de jeu des cylindre.

Guides : c'est des ensembles mécaniques composés de statique, de galets et des socles (bloc carter).

Les cages du LRB sont des cages duo (composé de deux cylindres).

Il existe trois (03) types de cage :

- ◆ Type de Cage1: C'est un ensemble de six (06) cages dégrossisseuses, équipés de cylindre de 510mm (numéroté de 1 à 6).
- ◆ Type de Cage2 : C'est un ensemble de quatre (04) cages intermédiaires, équipées de cylindre de 420mm (numéroté de 7 à 10).
- ◆ Type de Cage3 : C'est un ensemble de six (06) cages finisseuses, équipées de cylindre de 420mm (numéroté de 11 à 16).

I .3.6 Salle électrique : C'est la salle qui alimente les machines et installation en énergie électrique et le système d'automatisme.

I .3.7 Zone de refroidissement : C'est la zone de refroidissement du produit fini (rond à béton) à l'air libre.

I .3.8 Zone Expédition : C'est la zone où les fardeaux du RB serait expédier aux clients.

I .4 Le processus de fabrication de ferraille :

L'unité comprend un four réalisé par le fabricant BENDOTTI de capacité 90 billettes en même temps avec une cadence de fer.

A la sortie du four la billette sort avec une température de 1175° sur une voie à rouleau ; l'extraction de la billette se fait par la frappe de la tige défourneuse d'un coté et d'un rouleau pinceur de l'autre coté la sortie du four la billette passe à la zone de laminage où elle subit plusieurs transformation passant par les cages de laminage de (H1) jusqu'à la cage (HV16) qui est la finisseuse où le métal prend sa forme technologique suivant la recette demandé par exemple RB12 par la suite le métal sort avec une température de 600° à 700°, un thermex est prés pour le refroidissement et une cisaille coupante de longueur 60m juste après le thermex, les barres de ferraille continuent toujours dans une voie à rouleaux en allant aux lit de refroidissement final là où les barre s'allonge de longueur 60m,48,36 ou 24 (multiple de 12m) pour les préparer à la phase expédition qui débute par la coupe de 12m a l'aide d'une cisaille géante, en fin un mécanisme technologique très haut pour le déplacement des barre d'une machine à autre en produisant des couches initiales de 20 barres et à la fin les couches se collectent dans des bras poseur avec une bote de 20000Kg à 40000Kg juste après un mécanisme de serrage de bote très rapide (ligatireuse) .

En fin le pesage se fait automatiquement et un pont roulant pour le mettre sur les camions de transport est prés. [1]



Figure I .5: Rond à béton (ferraille)

I .5 Le but de l'unité : Son but est de satisfaire les besoins de :

- marcher nationale pour construction et autre.
- En exportation du rond à béton.

I .6 Les circuits de refroidissement :

Au niveau de l'unité LRB on a 3 circuits :

- Circuit **ICW** (indirect cooling water), circuit de refroidissement four.
- Circuit **DCW** (direct cooling water), circuit de refroidissement cage.
- Circuit **DCW** (direct cooling water), circuit de refroidissement thermex.

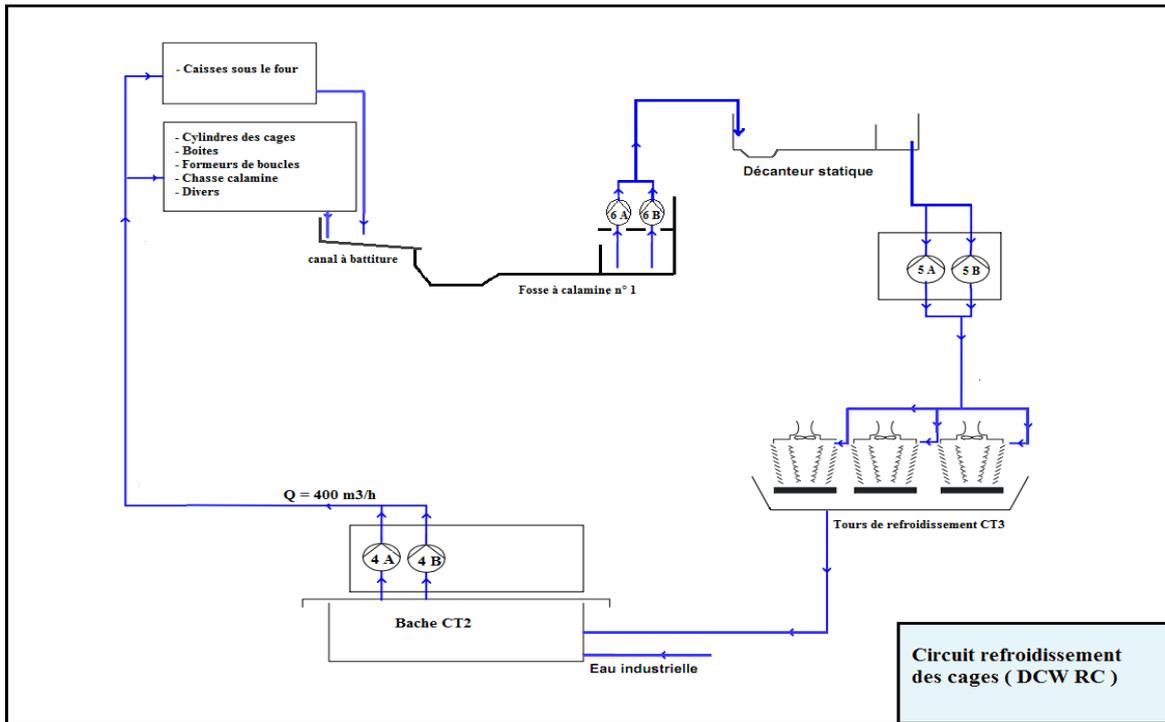


Figure I.6 : circuit refroidissement des cages (DCW)

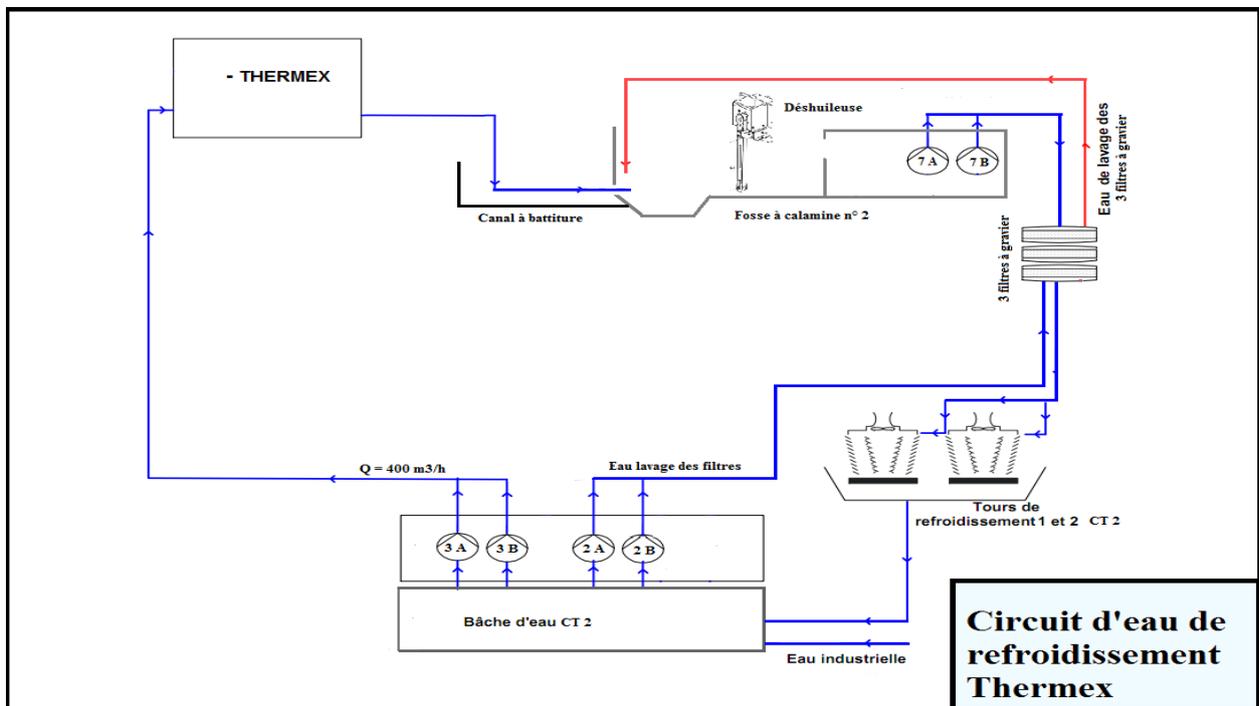


Figure I.7 : circuit de refroidissement Thermex (DCW)

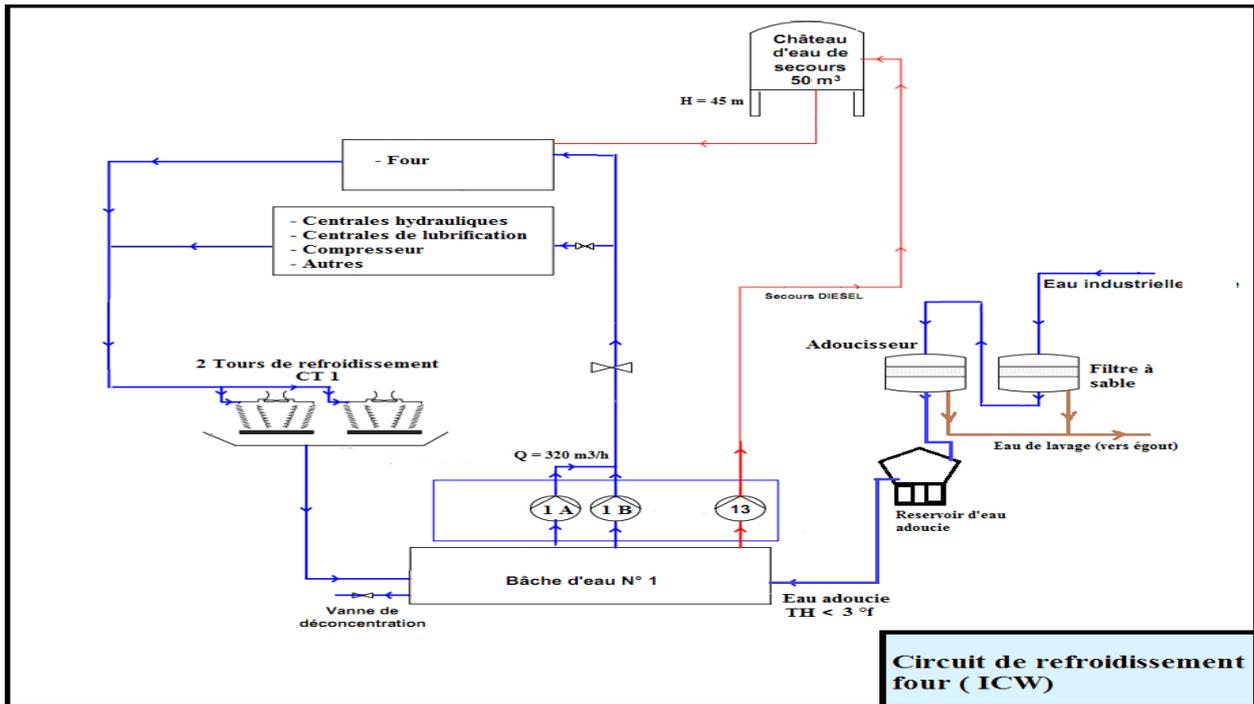
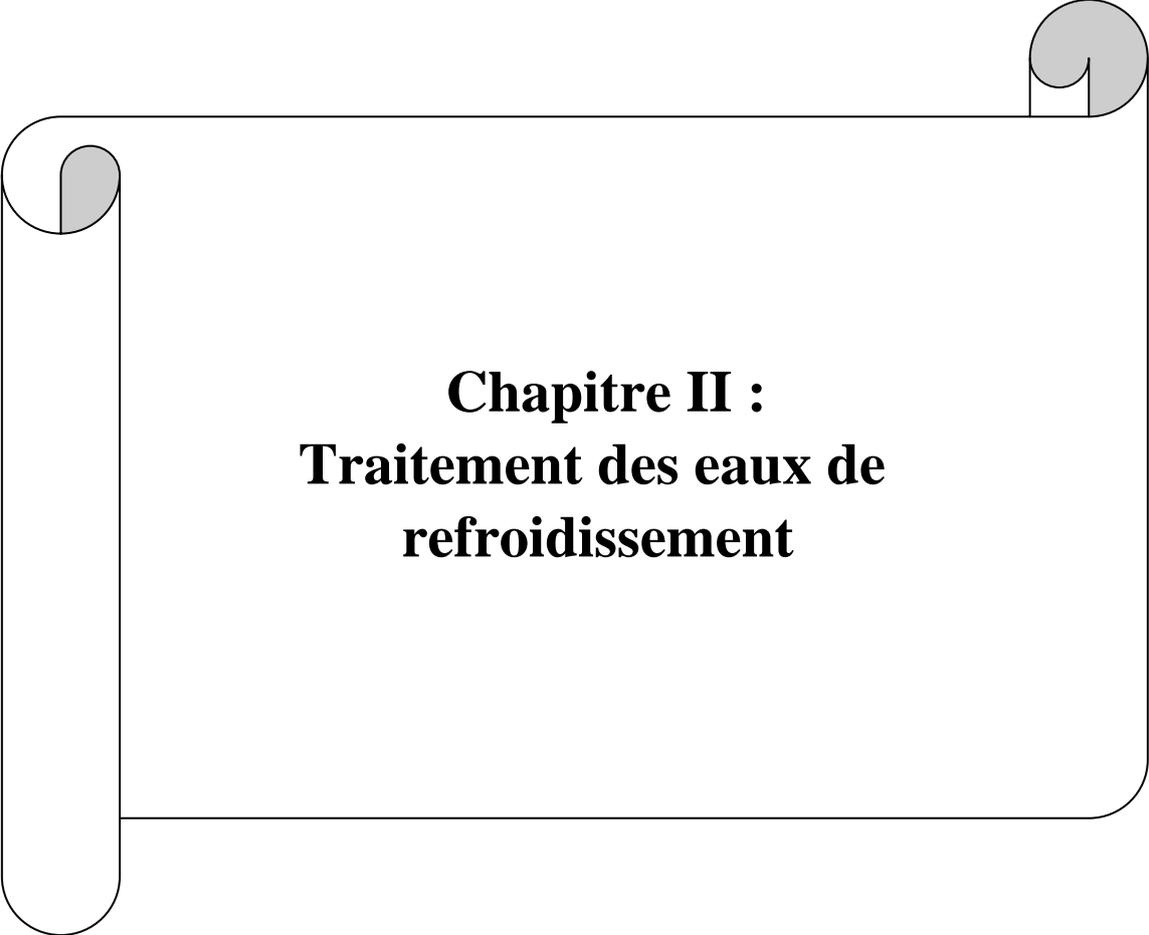


Figure I.8 : circuit de refroidissement four(ICW)

Dans notre étude on se focaliser sur le circuit de refroidissement four (ICW).



Chapitre II :
Traitement des eaux de
refroidissement

Chapitre II : Traitement des eaux de refroidissement**II.1 Introduction :**

L'eau dans nous disposons dans la nature n'est pas directement utilisable pour la consommation humaine ou industrielle, parce qu'elle se pollue et se charge de matière en suspension, des déchets des végétaux, des organismes et de sel divers. La présence de ces nombreux intrants de différentes natures impose un traitement des eaux avant l'utilisation.

Dans ce chapitre, nous présenterons les chaînes de traitement, les problèmes liés à la qualité de ces eaux, les solutions possibles qui permettant d'obtenir à partir d'eau brute une eau adoucie de qualité suffisante pour alimenter le four sans problème.

II.2 L'obtention de l'eau industrielle à partir de l'eau brute:

L'usine à eau reçoit l'eau brute depuis le Barrage de Chaffia à travers la station de pompage qui se trouve à **sidi Amar**, cette dernière alimente gravitaire avec des conduites de 1050 mm et une pression de 4 bar et un débit de 2000 m³/h. [2]



Figure II.1 : conduite d'arrivée d'eau

L'eau brute contient une charge assez importante en :

- Matières en Suspensions (MES).
- Le calcaire.
- L'argile Colloïdale.

Et pour cela, il faut qu'elle un traitement chimique dont l'objet est de :

- Faire une Décarbonatation pour réduire le $[Ca^{++}]$
- L'élimination des matières en suspension (MES) par décantation et filtration
- Coagulation pour éliminer l'argile colloïdale suivie d'une décantation et filtration.

II .3 Traitement des eaux de refroidissement:

II .3.1 Traitement d'eau brute :

II.3.1.1 Prétraitement d'eau brute au niveau du CFL :

a. Traitement physique :

Avant son traitement l'eau brute doit subir un prétraitement comportant uniquement des opérations physiques pour éliminer les grosses éléments il s'agit d'un:

- Dégrillage.
- Dessablage.
- Débourage.

-Le dégrillage :

Il assure la protection contre les gros objets qui peuvent provoquer des bouchages .Selon la nature de l'eau brute les grilleurs ont différents écartements des barreaux (de 3 a 100mm), qui dépendent de la nature de la pollution de la fréquence de nettoyage des débris.

-Le débourage :

Il est effectué quand les eaux brutes qui sont chargées de MES susceptibles de perturber la floculation-décantation. Il s'agit d'éliminer les limons sur le principe d'une pré-décantation pour réduire la teneur des MES a un niveau admissible. Cette pré-décantation peut aller jusqu'à 2 à 3h.

-Le dessablage :

Il a pour objectif d'extraire les graviers, sable et particules minérales plus on moins fines présentes dans l'eau brute, pour éviter le risque de colmatage des conduites et pour assurer la protection des pompes.

b. Traitement chimique :

-La coagulation et la floculation :

Le procédé de coagulation et de floculation facilitent l'élimination des colloïdes qui se rassemblent sous forme de floc.

-La décantation :

La décantation est la méthode la plus fréquente de séparation des MES.Cette opération est réalisée dans un décanteur qui possède un bras pivotant et un font conique. Le bras rotatif est muni d'un racleur qui pousse la boue dans le cône positionné au fond.



Figure II.2 : Décanteur de l'unité CFL du complexe sidérurgique d'El Hadjar.

-La flottation :

Par opposition à la décantation, la flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des agrégats dont la masse volumique est inférieure à celle du liquide qui les contient, ces agrégats étant recueillis, sous forme d'écumes (boues flottées) à la surface supérieure de l'appareil.

-Filtration sur sable :

La filtration est un procédé de séparation dans lequel on fait percoler un mélange solide-liquide à travers un milieu poreux (filtre) qui idéalement retient les particules solides et laisse passer l'eau (filtrat). On distingue principalement la filtration en profondeur (filtration sur lit granulaire) et la filtration avec formation de gâteau (filtration sur support). Après la filtration, l'eau se dirige vers la salle de traitement des eaux. Cette salle contient des baches à eau souterraine utilisées pour le stockage des eaux traitées. Les filtre sont lavés par le biais des pompes de lavage.



Figure II.3: filtre à sable

Après avoir traité, l'eau brute se transforme en eau industrielle (avec des nouvelles caractéristiques chimiques) destinée aux refroidissements d'unité LRB.

II.3.2 Traitement d'eau industrielle (l'adoucissement) :

L'adoucissement de l'eau est un procédé de traitement initialement destiné à réduire la dureté de l'eau (due à la présence de sels de métaux alcalino-terreux : carbonates, sulfates et chlorures de calcium et de magnésium).

Cette opération entre parfois dans le cadre de l'épuration physico-chimique de l'eau où elle peut accompagner d'autres modalités de traitement de l'eau (filtration, désinfection, dénitrification, élimination des pesticides) en vue de sa distribution comme eau potable ou pour des usages techniques nécessitant une eau déminéralisée. [4][5]

II.3.2.1 Principe de fonctionnement de L'adoucisseur :

L'adoucisseur est un appareil qui utilise une résine échangeuse d'ions et le principe consiste à permuter les ions calcium et magnésium qui constituent la dureté de l'eau par des ions sodium liés à la résine de l'adoucisseur. L'échange ionique d'adoucissement sera réalisé sur un support solide constitué d'une résine initialement chargée en sodium. Chaque ion Ca^{2+} et Mg^{2+} va chasser de la résine 2 ions Na^+ .

L'opération d'adoucissement va se poursuivre jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'ions Na^+ sur la résine. Lorsque tous les ions sodium ont été échangés, on dit que la résine est saturée et elle doit être régénérée. Il faut donc la recharger en ions sodium pour lui redonner son pouvoir adoucissant. Pour cela on va effectuer une régénération de la résine avec une saumure (solution de NaCl saturée ou chlorure de sodium). Les ions Na^+ vont se fixer sur la résine, tandis que les ions Cl^- entraîneront vers l'égout les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} qui étaient fixés sur la résine. Ainsi, les ions sodium sont de nouveau remis en place sur les résines, alors que les ions calcium et magnésium sont évacués à l'égout sous forme de chlorures. Une succession de rinçage permet d'éliminer la saumure. [6]

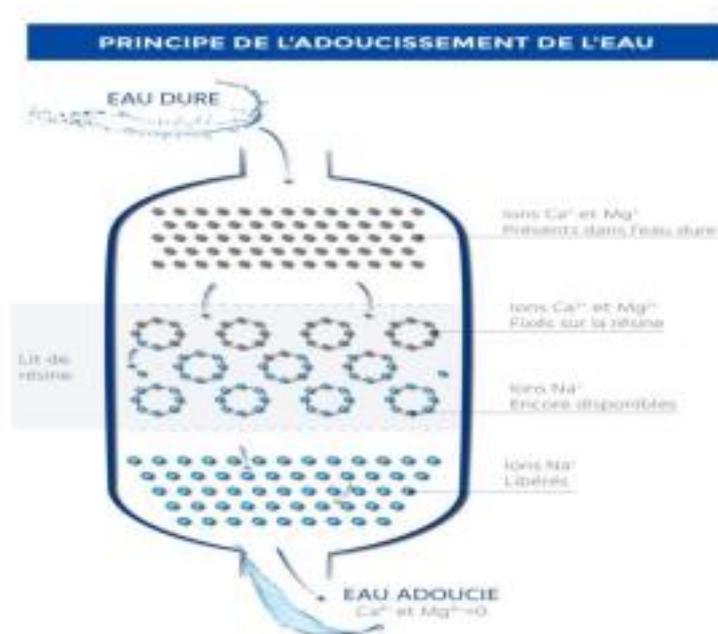


Figure II.4: principe de fonctionnement d'un adoucisseur

II.3.2.2 L'échange ionique :

Les minéraux que l'eau dissout lors de son passage dans le sol sont sous forme d'ions. Les ions sont des particules électriquement chargées. Les uns sont négatifs, issus des acides, ce sont les ANIONS (ex : chlorures Cl^- , bicarbonates HCO_3^- , sulfates SO_4^{2-}). Les autres, issus des métaux, sont positifs, ce sont les CATIONS (ex : calcium Ca^{2+} , magnésium Mg^{2+} , sodium Na^+). Les échangeurs d'ions sont des composés capables de fixer certains ions et d'en céder d'autres dont ils sont chargés.

Dans les adoucisseurs d'eau, on utilise une résine de synthèse porteuse d'ions sodium. Cette résine se présente sous forme de billes poreuses de 0,2 à 3 mm de diamètre, de densité réelle légèrement supérieure à celle de l'eau. Cette résine a beaucoup plus d'affinité pour les ions calcium et magnésium que pour les ions sodium dont elle est chargée à l'origine. Lorsque cette résine est mise en contact avec de l'eau dure contenant des ions calcium et magnésium, ces derniers sont attirés par la résine. Ils se fixent sur la résine en prenant la place des ions sodium qui y étaient à l'origine. Ces ions sodium sont libérés dans l'eau en lieu et place des ions calcium et magnésium. L'eau qui a ainsi percolé de haut en bas sur un lit de résine va céder tous les ions calcium et magnésium qu'elle contenait. Sa dureté tend donc vers zéro.

Lorsque la résine a cédé tous les ions sodium dont elle était chargée, l'échange d'ions ne peut plus se faire. La résine est dite « saturée », les ions calcium et magnésium ne sont plus fixés, et l'eau qui sort du lit de résine est aussi dure que celle qui y rentre. Il est possible de chasser les ions calcium de la résine et de les remplacer par des ions sodiques, c'est à dire de redonner à la résine sa forme d'origine. Cette opération est appelée « régénération ».[7]

II.3.3 La régénération :

Pour « régénérer » une résine saturée, il suffit de la mettre en contact avec une solution très riche en ions sodium. Dans la pratique, on utilise une solution concentrée de chlorure de sodium, appelée « saumure », obtenue par dissolution dans de l'eau de sel raffiné commercialisée sous forme de pastilles ou de granulés.

Comme la résine a plus d'affinité pour le calcium et le magnésium que pour le sodium, on est obligé, pour régénérer la résine, d'utiliser un excès de sodium.

II.3.3.1 Les étapes de la régénération :

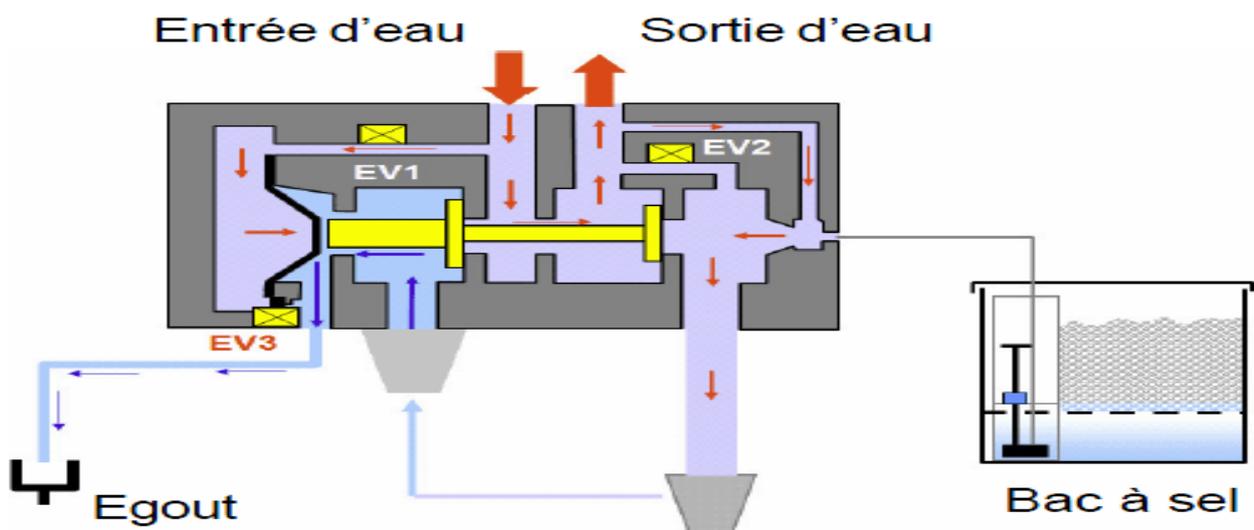
Les quatre phases de la régénération vont s'effectuer automatiquement les unes après les autres par l'action d'un programmeur. Pendant toutes les phases de régénération, l'appareil ne peut pas délivrer d'eau adoucie. Afin de ne pas priver l'utilisateur d'eau pendant les régénérations, les appareils sont équipés d'un by-pass automatique.

a- Détassage

b-Aspiration de la saumure.

c- Rinçage lent.

d- Rinçage rapide.



DETASSAGE

Première phase de la régénération.

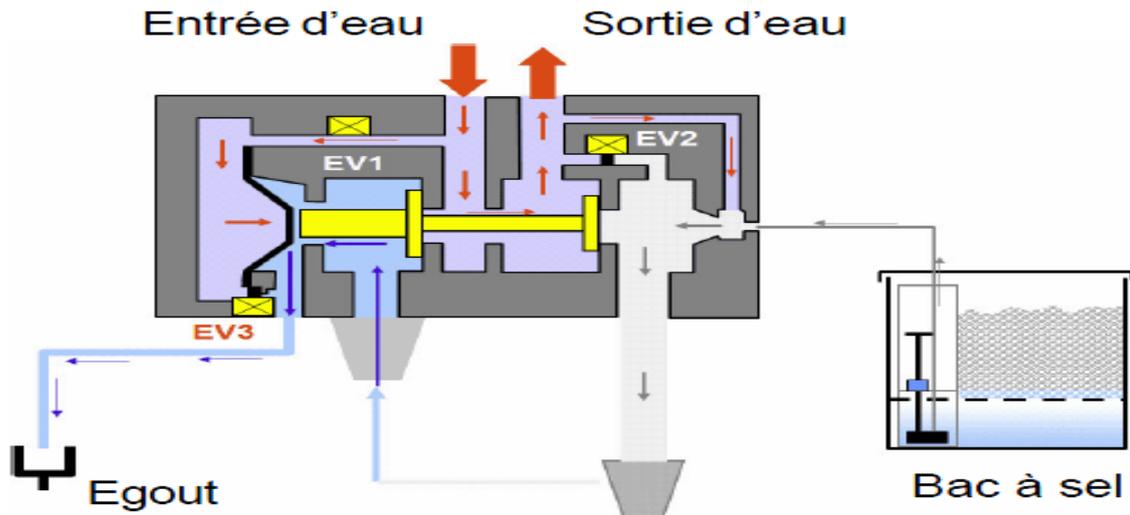
Le détassage s'effectue de bas en haut dans la bouteille et prépare le lit de résine pour le passage de la saumure.

Cette étape ne dure que quelques minutes, l'eau va s'écouler à l'égout à fort débit.

L'électrovanne n°1 pilote la membrane qui déplace le train mobile à l'intérieur de la vanne.

L'électrovanne n°2 est également ouverte pour augmenter le débit d'eau à l'égout.

Figure II.5 : schéma de détassage



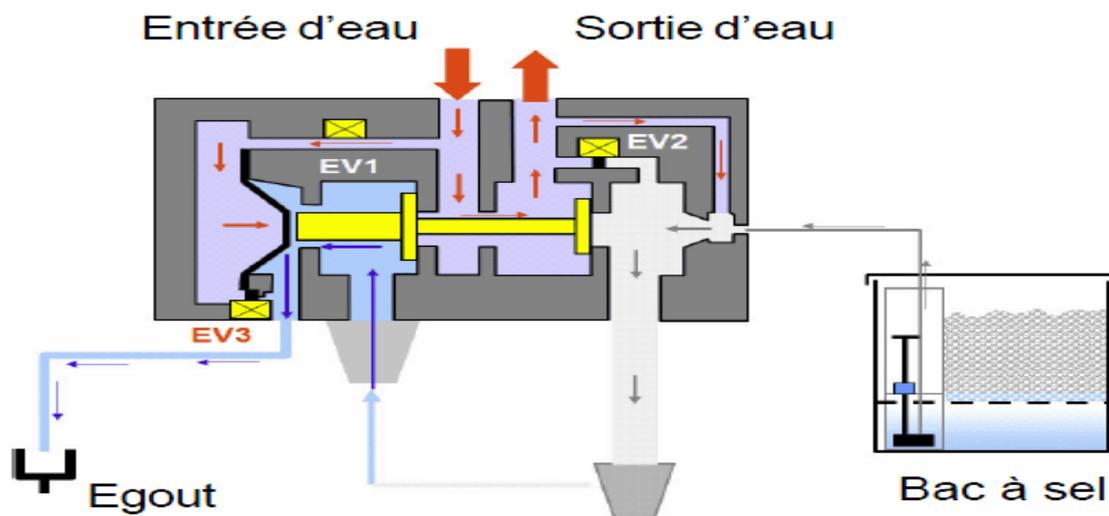
ASPIRATION SAUMURE

Phase importante de la régénération, le saumurage s'effectue de bas en haut et apporte à la résine une solution de saumure saturée. Les ions sodium vont remplacer les ions calcium et magnésium fixés précédemment sur la résine.

L'eau s'écoule à l'égout à faible débit.

L'électrovanne n°2 est fermée pour forcer l'eau à passer par l'hydro-éjecteur. Une dépression est alors formée pour aspirer la saumure préparée au préalable dans le bac à sel.

Figure II.6 : Schéma d'aspiration saumure



RINCAGE LENT

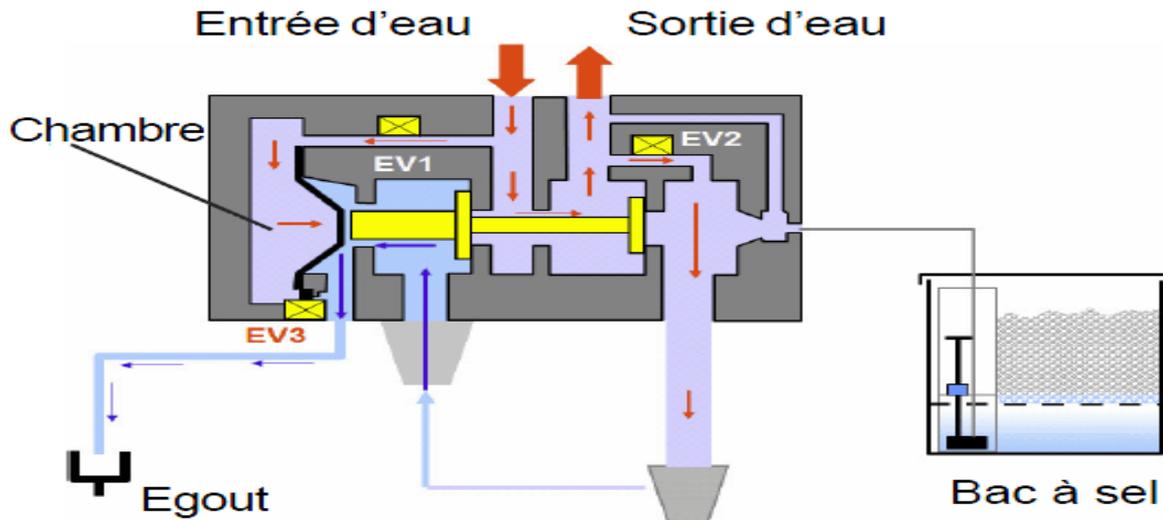
Lorsque la saumure contenue dans le bac à sel est aspirée complètement, une quantité d'eau est maintenue sur les résines afin d'éliminer les résiduels d'ions sodium.

L'eau s'écoule à l'égout à faible débit.

L'électrovanne n°2 reste fermée.

L'électrovanne n°1 maintient le train mobile dans la position de régénération.

Figure II.7 : schéma d'un rinçage lent



RINCAGE RAPIDE

Dernière phase de la régénération. Le rinçage s'effectue de bas en haut, il permet d'éliminer les éventuels résidus de sodium encore présents dans la bouteille. Cette étape ne dure que quelques minutes, l'eau s'écoule à l'égout à fort débit.

L'électrovanne n°1 & n°2 sont sous tension.

A la suite de cette étape, l'électrovanne n°3 s'ouvre pendant quelques minutes pour décompresser la chambre et l'eau doit s'arrêter de couler à l'égout.

Figure II.8 : schéma d'un rinçage rapide

Durant ces phases, le passage de l'eau et la saumure s'effectue toujours de bas en haut dans la bouteille (procédé contre courant) pour éviter que des passages préférentiels ne se créent dans les billes de résines. De plus, pour les adoucisseurs haut de gamme, un procédé d'électrochloration produit du chlore in situ dans la vanne de l'adoucisseur, par électrolyse d'une solution riche en chlorure de sodium, afin de désinfecter les résines avant chaque régénération. [7]

II.3.3.2 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. [8]

Après avoir traité, l'eau industrielle se transforme en eau adoucie (avec des nouvelles caractéristiques chimiques) destinée aux refroidissements du four.

II.4 Problèmes liés à la qualité des eaux de refroidissement :

L'utilisation de l'eau comme fluide thermique dans les circuits de refroidissement pose un certain nombre de problèmes tels que la corrosion, l'encrassement biologique et l'entartrage. Ceci peut entraîner une baisse de l'efficacité thermique du circuit, une perte du matériau métallique. Les pertes économiques liées à ces problèmes peuvent être importantes. Les désordres constatés dans les installations de l'eau sont essentiellement liés à sa composition, à son pH, à sa température mais également à la nature du matériau et aux conditions d'exploitation du système.

II.4.1 La corrosion :

La corrosion peut être définie comme la destruction d'un métal par réaction électrochimique avec son environnement ou chimique. Dans les systèmes de refroidissement, la corrosion entraîne deux problèmes fondamentaux. Le premier, le plus évident, est la défaillance des équipements avec le coût résultant du remplacement et les temps d'arrêt de l'usine. Le second est la diminution de l'efficacité de l'usine en raison de la perte de chaleur par transfert, suite à l'encrassement de l'échangeur de chaleur provoquée par l'accumulation de produits de corrosion.

La corrosion entraîne de :

- une dégradation d'état des surfaces ;
- des pertes d'échange thermique;
- la destruction du métal par libération d'ions métalliques dans l'eau;
- une augmentation des besoins de maintenance des installations.

Les causes principales de la corrosion sont la diversité des matériaux, la teneur en oxygène de l'eau ou de composés oxydants forts, et la concentration en sels d'acides forts (Chlorures, Sulfates, Nitrates).

Ainsi, la corrosion va dépendre :

- des métaux ou des alliages utilisés (métallurgie, état de surface, métaux en présence);
- des conditions d'exploitation (vitesses de passage, états de surface, particularité du circuit, ...); de la qualité de l'eau : teneur en oxygène; salinité de l'eau; température; **pH**



Figure II.9 : la corrosion

Actuellement, le principe de base du traitement de l'eau de refroidissement est rendre volontairement corrosive l'eau en recirculation (une méthode pour empêcher le tartre), ensuite on ajoute une combinaison d'inhibiteurs pour empêcher la corrosion. Le choix des produits inhibiteurs de corrosion est vaste mais il se ramène à trois groupes :

- **Inhibiteurs anioniques** (anodiques) dont les principaux sont : Ortho-phosphates, nitrites et ortho-silicates ;
 - **Inhibiteurs cathodiques** dont les principaux sont : Poly-phosphates, zinc, molybdates et poly-silicates.
- [9]

II.4.2 L'entartrage :

L'entartrage est un phénomène qui correspond à la précipitation de sels minéraux en fonction de leur solubilité et de leur concentration.

II.4.2.1 Conséquences de l'entartrage : L'entartrage entraîne de :

- une dégradation d'état des surfaces ;
- des pertes d'échange thermique;
- des risques de corrosion sous les dépôts formés;
- une augmentation des besoins de la maintenance des installations.

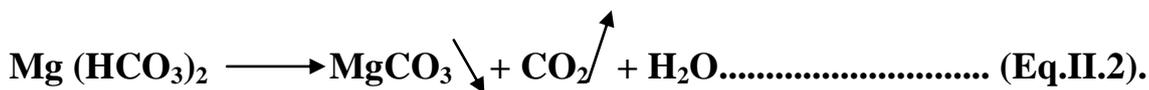
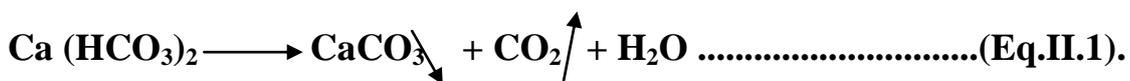


Figure II.10 : l'entartrage dans les circuits de refroidissement

II.4.2.2 Causes de l'entartrage : L'entartrage intervient lors de :

- l'élévation de la température;
- l'augmentation de la concentration en sels;
- la variation du **pH** ;
- diminution de la teneur en CO₂.

Le phénomène est basé sur la formation de dépôts de sels insolubles à la surface des matériaux le plus souvent par modification de l'équilibre calco-carbonique :



D'une manière générale les tartres rencontrés sont listés ci-dessous :

- carbonate de calcium : faible produit de solubilité / dépôts durs et adhérents ;
- sulfate de calcium : précipitation à température élevée / dépôts durs et adhérents ;
- tartres silicatés : en fonction du **pH** et de la température, on peut former des silicates de calcium ou magnésium qui vont donner des tartres difficilement éliminables ;

- phosphates de calcium : en présence de sels de dureté, les phosphates forment des boues relativement peu solubles ;
- hydroxyde de magnésium $Mg(OH)_2$: dépôts non adhérents.

Dans l'industrie ce sont surtout les circuits de refroidissement et les chaudières qui sont concernés par le problème d'entartrage à cause de la dégradation des coefficients de transfert thermique dû à la formation dans les échangeurs de chaleur de dépôts cristallins. Dans les procédés à membranes, la formation de tartre provoque des colmatages plus ou moins difficiles à éliminer, ce qui dégrade très rapidement ces performances.

Pour lutter contre l'entartrage, deux types de procédé peuvent être envisagés :

- **Le procédé soustractifs** : élimination d'un ou des ions formateurs de tartres par des résines échangeuses ou par la décarbonatation à la chaud;
- **Les procédés additifs** : ajouter des substances qui vont reculer le produit de solubilité, ou altérer le processus de croissance des cristaux, ou disperser les cristaux formés. [9]

II.4.3 L'encrassement biologique :

L'encrassement biologique est constitué par un film d'épaisseur variable sur des points à température relativement constante et proche de la température la plus favorable à la reproduction des micro-organismes (35 à 40 °C). Plage de température correspondante à la plage de fonctionnement des tours de refroidissement. Ce "dépôt" est très peu conducteur de chaleur et constitue une barrière isolante entre l'eau le fluide caloporteur et le fluide à refroidir; le rendement des échanges est donc fortement affecté. Le coefficient global de transfert de chaleur est donc réduit. Un autre inconvénient de l'encrassement biologique est que le surchauffe locale des surfaces des échangeurs réduit la solubilité de certains composés, ainsi un encrassement biologique peut conduire à un entartrage. [10]

II.4.4 Les proliférations organiques :

Les conditions qui règnent dans les systèmes de refroidissement sont dans certains cas favorables au développement de microorganismes : pH assez voisin de la neutralité, la température tropicale, abondance des sels minéraux et de composés organiques servant de nutriments et la lumière pouvant couvrir les besoins de la photosynthèse des certains organismes.

Les microorganismes rencontrés dans les circuits de refroidissement d'eau appartiennent à trois grands groupes :

- Bactéries : les légionnelles, pseudomonas et aerobacter ;
- Les algues : dont les principaux sont les algues filamenteuses, les diatomées et les algues bleu-vert ;
- Les champignons : dont les principaux sont les moisissures et les levures.

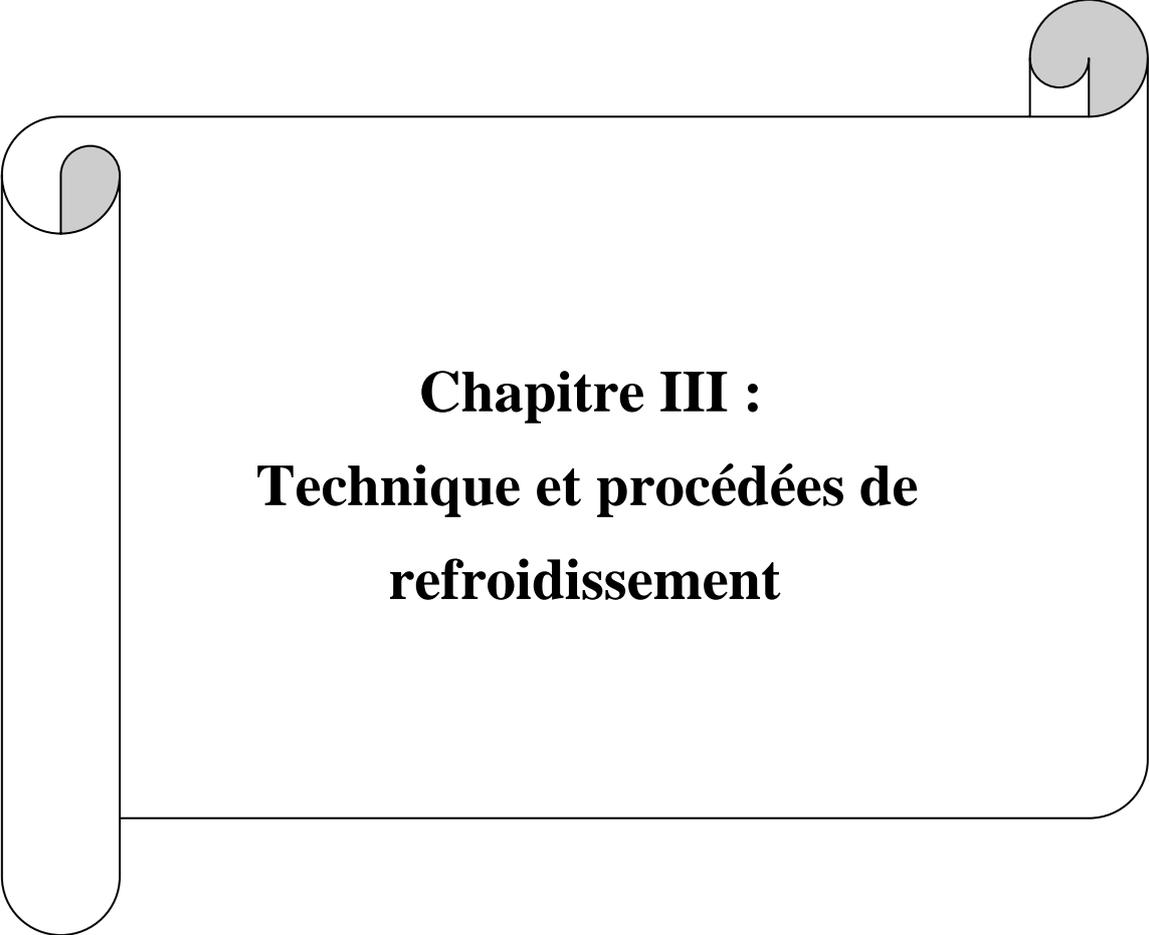
Pour lutter contre ces microorganismes, les traitements à action bactéricide sont nécessaires sur ces circuits de refroidissement, ils sont généralement associés à des traitements antitartre et anticorrosion. Les traitements les plus efficaces et les plus fréquemment utilisés, aussi bien en préventif qu'en curatif sont :

- Chloration et produits chlorés;
- Bromation ;
- Biocides organiques

II.5 Conclusion :

A partir de ce chapitre, nous avons constaté que la plus part des systèmes de refroidissement industriel utilise les eaux de surfaces comme fluide réfrigérant compte tenu de sa disponibilité, moins chère et n'est pas nocif sur l'environnement. La qualité de ces eaux n'élimine pas l'ajout des additifs pour éviter les phénomènes de corrosion, l'entartrage, prolifération biologique et l'encrassement biologique.

Un conditionnement correct de l'eau de refroidissement, nous permettent une qualité d'eau optimale pour l'alimentation du four.



Chapitre III :
Technique et procédés de
refroidissement

Chapitre III: Techniques et procédés de refroidissement**III.1 Introduction :**

Les eaux de refroidissement sont largement utilisées dans la plupart de l'industrie des pays développés notamment dans les centrales électriques thermiques ou nucléaires pour la condensation de la vapeur ; dans la sidérurgie pour le refroidissement des installations servant à la fabrication par exemple de rond a béton , dans l'industrie chimique et pétrochimique pour la condensation des distillats, refroidissement de compresseurs, pour le refroidissement des produits donnant lieu à des réaction exothermiques.

III.2 Définitions :**III.2.1 La chaleur résiduelle :**

La chaleur résiduelle est la chaleur inhérente non récupérable qui doit être extraite des procédés industriels et qui est rejetée dans l'environnement. Plus le niveau de chaleur résiduelle est faible, et plus il sera difficile de le refroidir avec des systèmes de refroidissement à air. [11]

III.2.2 L'appoint :

L'appoint est la quantité d'eau qui rentre dans le circuit de pulvérisation ou le circuit de refroidissement pour compenser celle perdue par évaporation, par les entraînements

Vésiculaires et les purges de déconcentration. [12]

III.2.3 La purge de déconcentration :

C'est la quantité d'eau que l'on prélève au circuit de la tour pour contrôler la concentration en sels dissous. La quantité d'eau à purger est fonction de la concentration en sels admise par le circuit de refroidissement. [13]

E: Débit de l'évaporation en m³/h

$$E = W / (1000 \times 600)$$

(On estime que l'évaporation de 1 litre d'eau évacue 600 kcal ou encore 1 Kw = 1,45 L/h)

P: Débit de la purge en m³/h, réglé pour limiter la concentration des sels minéraux dans l'eau recirculée, concentration due à l'évaporation d'une partie de l'eau recirculée.

A: Débit de l'appoint en m³/h (compense les pertes dues à la purge et à l'évaporation)

$$A = P + E.$$

III.2.4 Le panache :

Le panache est l'air saturé en vapeur d'eau provenant de la quantité évaporée pour assurer le refroidissement du fluide qui crée un nuage visible à la sortie des tours de refroidissement. Ce panache est constitué par de l'eau pure.

III.2.5 L'entraînement vésiculaire :

Il représente les émissions d'une installation de refroidissement par voie humide, constituées de fines particules d'eau (ou aérosols) entraînées dans l'atmosphère à la sortie de la tour de refroidissement. Ces gouttelettes ont la même composition que l'eau du circuit de la tour.

III.2.6 Réfrigérant atmosphérique :

Un réfrigérant atmosphérique est un échangeur de chaleur dans lequel l'eau à refroidir s'écoule en contact avec l'air ambiant en la faisant ruisseler sur des empilages de claies ou de plaques superposées (zone de dispersion), c'est le garnissage ou packing qui constitue le corps d'échange thermique.

Q: Débit de recirculation de l'eau en m³/h

DT: Différence de température de l'eau entre l'entrée et la sortie du réfrigérant.

W: Puissance du réfrigérant en kcal / h (1 kW = 860 kcal / h)

$$W = 1000 \cdot DT \cdot Q$$

E: Débit de l'évaporation en m³/h

$$E = W / (1000 \times 600)$$

(On estime que l'évaporation de 1 litre d'eau évacue 600 kcal ou encore 1 Kw = 1,45 L/h)

P: Débit de la purge en m³/h, réglé pour limiter la concentration des sels minéraux dans l'eau recirculée, concentration due à l'évaporation d'une partie de l'eau recirculée.

A: Débit de l'appoint en m³/h (compense les pertes dues à la purge et à l'évaporation)

$$A = P + E.$$

III.3 Système de refroidissement :

On entend par "systèmes de refroidissement industriel" des systèmes destinés à extraire le trop-plein de chaleur d'un fluide par échange calorifique avec de l'eau ou de l'air, de manière à abaisser la température de ce fluide à une température bien déterminée. Les systèmes de refroidissement sont fondés sur les principes de la thermodynamique. La température du procédé et la capacité de refroidissement nécessaire doivent être garanties à tout moment pour améliorer l'efficacité du procédé industriel ou de fabrication et réduire la perte de produit et les émissions rejetées dans l'environnement. Plus les procédés sont sensibles à la température, plus le rôle de ce paramètre est important. [14]

III.4 Les type de circuits de refroidissement :

III.4 .1 Les circuits ouverts dits à « passage direct », dans lesquels la totalité de l'eau pompée est rejetée dans le milieu naturel après utilisation comme fluide récupérateur de calories, et ce sans évaporation. Ce type de circuit convient pour les installations utilisant l'eau de mer comme fluide de refroidissement et rarement pour des installations utilisant de l'eau de surface. La disponibilité de l'eau de mer explique son usage dans des circuits ouverts, même si en bord de mer les nouvelles unités ont tendance à privilégier l'usage de circuits semi-ouverts.

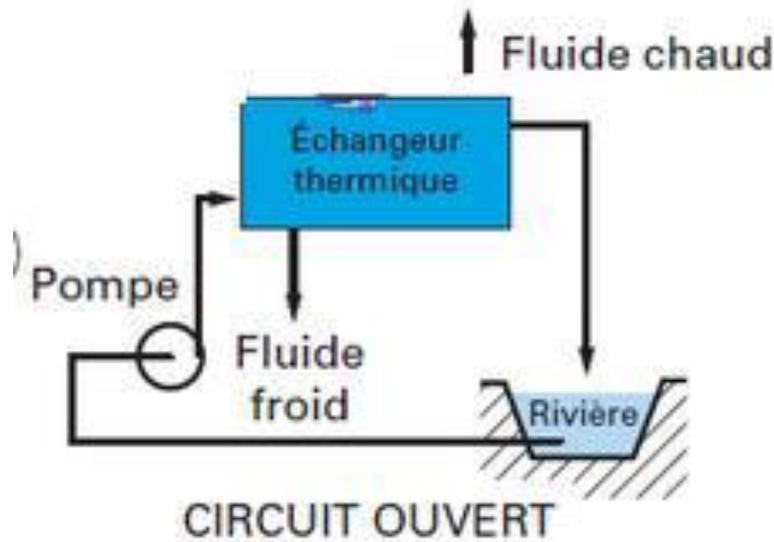


Figure III.1 : circuit ouvert

III.4 .2 Les circuits fermés où l'évaporation est également nulle. Les pertes sont accidentelles, l'appoint faible. C'est le principe du radiateur de voiture. Le refroidissement de l'eau du circuit s'effectue grâce à un échangeur refroidi par de l'eau ou par de l'air ou par un fluide organique.

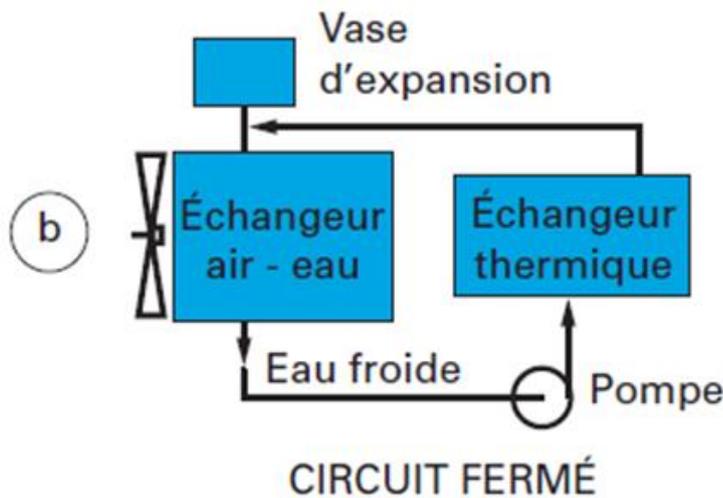


Figure III.2 : circuit fermé

III.4 .3 Les circuits semi-ouverts : c'est le type de circuit qui concerne la majorité des installations industrielles. L'eau stockée dans un bassin est recirculée par l'intermédiaire de pompes de circulation à

travers les échangeurs eau-liquide à refroidir où elle s’y réchauffe. En arrivant au sommet d’une tour de refroidissement, elle est dispersée sous forme de fines gouttelettes dans des packings en polymère où elle rencontre un courant ascendant d’air qui en favorise l’évaporation d’une partie et assure son refroidissement à son arrivée dans le bassin. Et le cycle est renouvelé. L’évaporation doit être compensée par un appoint afin de maintenir le volume constant. L’évaporation d’eau pure laisse les sels dissous dans l’eau de circulation, ce qui se traduit par une augmentation de la salinité. [15]

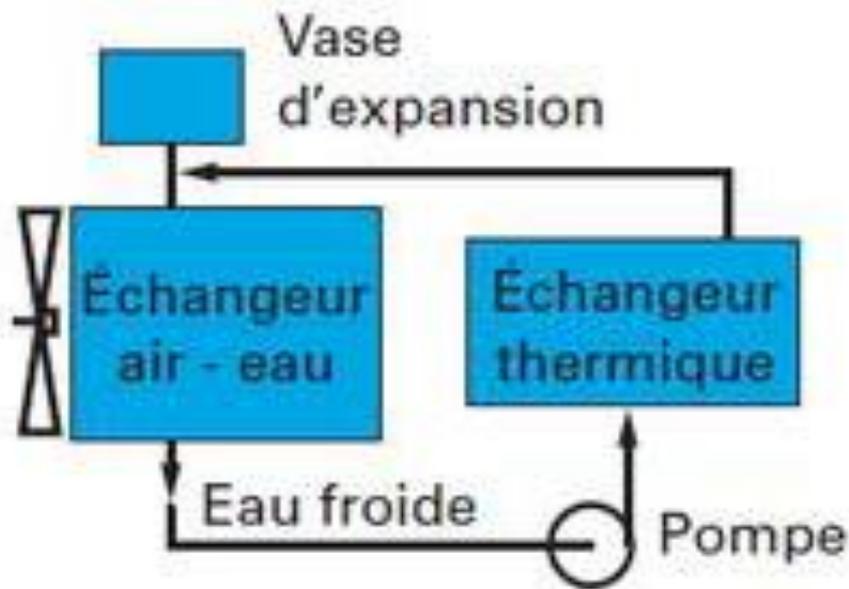


Figure III.3 : circuit semi-ouvert

III.5 Définition d’une tour de refroidissement :

Une tour de refroidissement est un échangeur d'un type particulier qui permet de rejeter de la chaleur dans l'air d'environnement sous forme à la fois de chaleur sensible et de chaleur latente du fait de l'augmentation de son humidité. Il est possible de refroidir un fluide jusqu'à une température supérieure de quelques degrés à la température humide de l'air ambiant et donc éventuellement inférieure à sa température sèche. [16]



Figure III.4 : Tour de refroidissement

III.6 Principes de fonctionnement circuit de refroidissement :

Nous avons vu qu'un réfrigérant atmosphérique est un échangeur de chaleur dans lequel l'eau à refroidir s'écoule en contact avec l'air ambiant en la faisant ruisseler sur des empilages de claies ou de plaques superposées (zone de dispersion), c'est le garnissage ou packing qui constitue le corps d'échange thermique. Il est enfermé dans une tour assurant une circulation d'air la meilleure possible, La fonction de cette tour de refroidissement est uniquement de refroidir de l'eau chaude. On fait circuler l'eau refroidie ainsi obtenue jusqu'à l'unité en fonctionnement, où son rôle est d'éliminer la chaleur produite dans cette unité. De ce fait, l'eau refroidie redevient chaude et est renvoyée à la tour de refroidissement pour être refroidie et recyclée. [17]

III.7 Eléments constitutifs d'une tour de refroidissement :

Les principaux éléments constitutifs d'une tour de refroidissement sont:

III.7.1 Un système de distribution d'eau (rampes de pulvérisation) :

Le système de distribution d'eau est un ensemble de tubes munis de disperseurs, situé à la partie supérieure de la tour de refroidissement destiné à amener l'eau en contact avec l'air. Les disperseurs transforment le flux d'eau arrivant à la tour en gouttelettes qui se répartissent sur le corps d'échange de la tour de refroidissement).

Donc le rôle est de disperser de manière uniforme l'eau sous forme de gouttelettes.



Figure III.5: Rampe de dispersion

III.7.2 Le corps d'échange :

Le corps d'échange ou garnissage encore appelé "packing", est un dispositif au travers duquel se fait le transfert thermique entre l'air et l'eau.

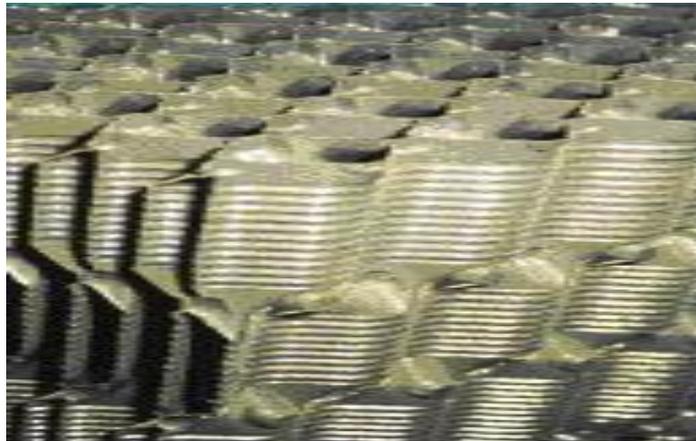


Figure III.6 : paking

III.7.3 Le pare-gouttelettes :

Le pare-gouttelettes ou séparateur de gouttes est un ensemble de chicanes, installé au sommet de la tour de refroidissement et destiné à retenir les gouttelettes d'eau pour limiter au maximum l'entraînement vésiculaire. [18]

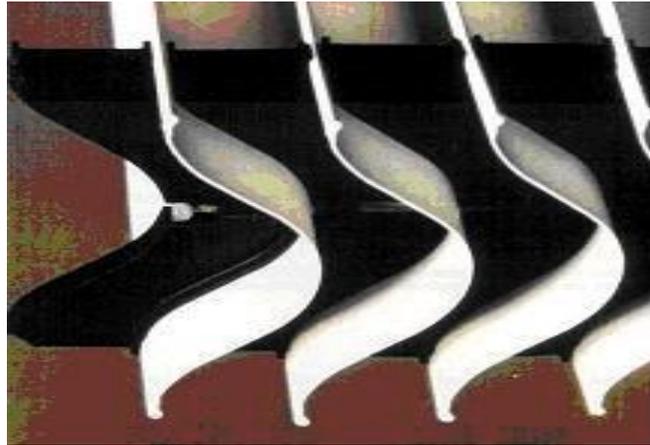


Figure III.7 : par-gouttelettes

III.7.5 Le ventilateur :

Il assure un écoulement continu d’air. Il peut être situé en partie haute ou basse de la tour aéro-réfrigérante. Eventuellement un ou plusieurs échangeurs et une pompe assurant la circulation de l’eau, pour les tours de refroidissement à double circuit ou pour les tours hybrides. [19]

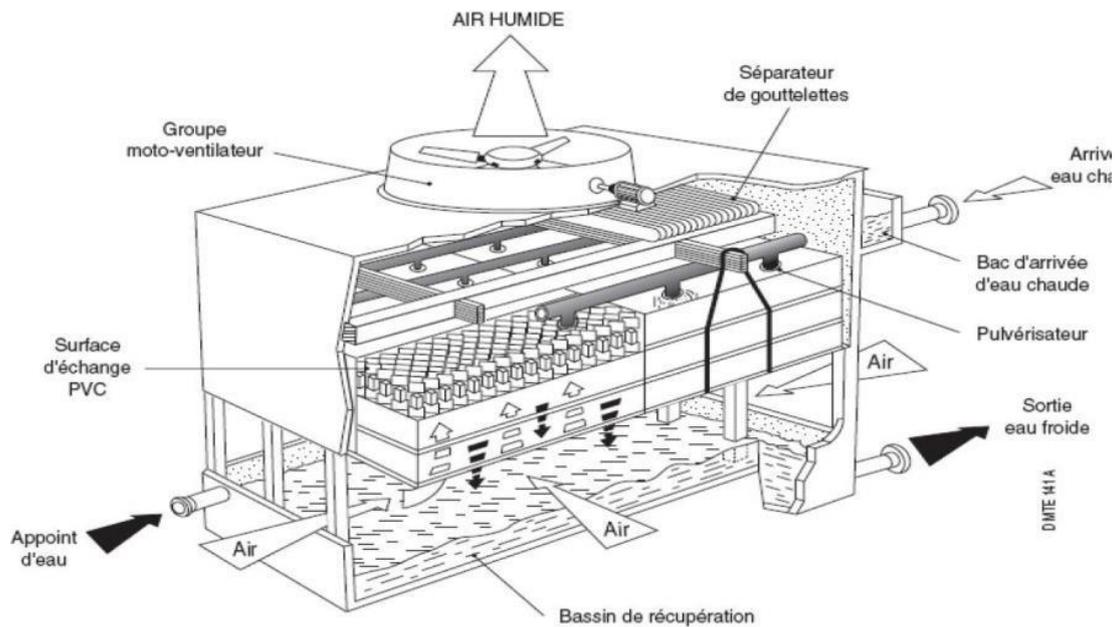


Figure III.8 : schéma représentatif d’un système de refroidissement

III.8 les différents procédés de refroidissement :

III.8.1 Refroidissement évaporatif :

Le refroidissement évaporatif est basé sur un principe naturel simple(le contact direct entre l’air et l’eau du procédé à refroidir). Dans une tour ouverte l’eau à refroidir est pulvérisée sur une surface de ruissellement alors que de l’air est soufflé ou aspiré au travers de cette surface de ruissellement. Une petite

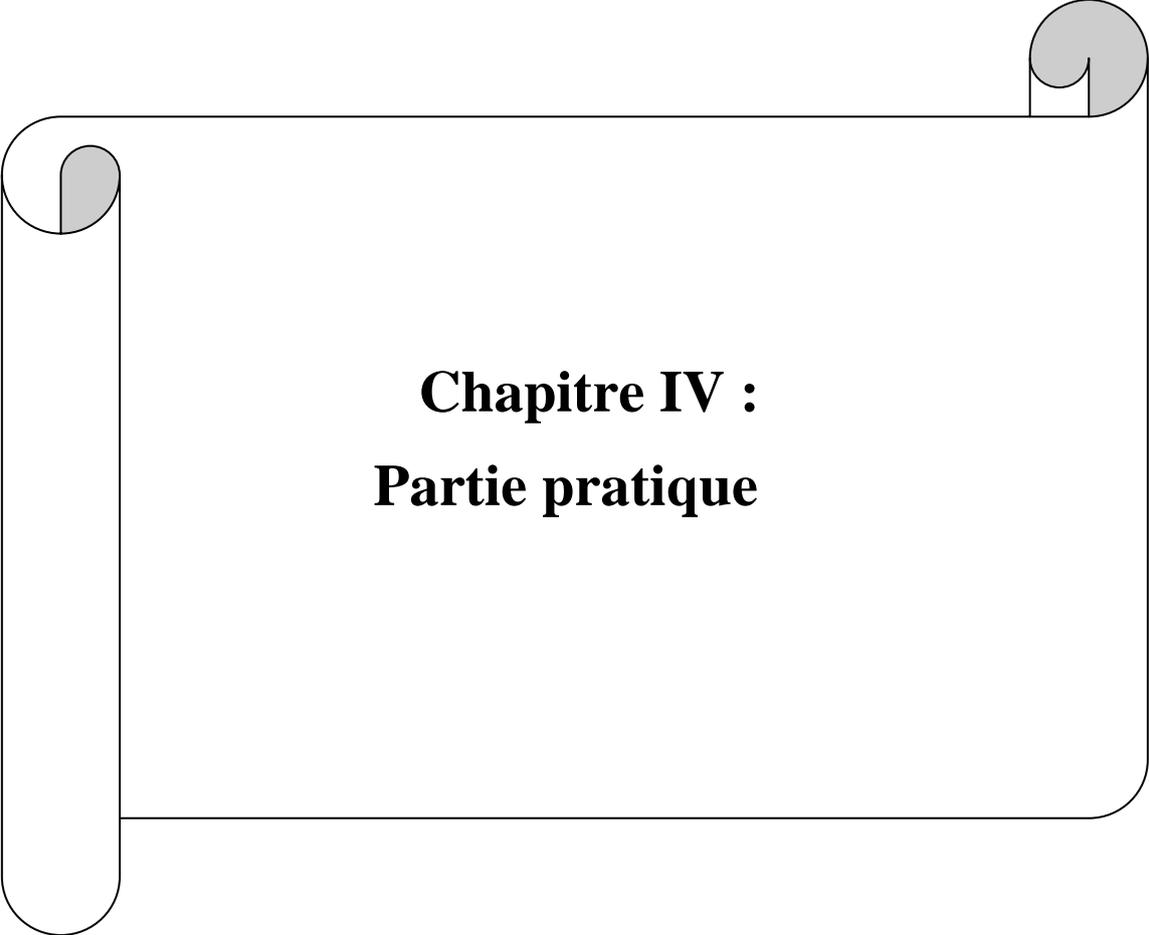
quantité d'eau est évaporée, provoquant ainsi le refroidissement de l'eau restante. Cette eau froide tombe dans le bac de la tour, et la chaleur est extraite par l'air sortant de la tour.

III.8.2 refroidissement sec (à air) :

Les aérofrigérantes sont utilisées pour refroidir de l'eau grâce à l'air ambiant dans le circuit de refroidissement sec, l'eau du circuit de refroidissement passe par un échangeur air/eau. L'air frais extérieur mis en circulation par des ventilateurs assure le refroidissement de l'eau. La température de retour de l'eau est alors de quelques degrés plus élevée que la température de l'air ambiant.

III.9 Conclusion :

Le refroidissement humide est le type plus utilisé dans l'industrie vu la disponibilité de l'eau et aussi n'est pas coûteuse, efficace et facile à utiliser.



Chapitre IV :
Partie pratique

IV.1 Problématique :

L'eau qui nous disposons dans la nature n'est pas directement utilisable pour l'industrie. La présence de nombreuses impuretés de différentes natures impose le traitement des eaux avant utilisation, pour les rendre aptes aux applications envisagées.

La plus grande partie de l'eau consommée pour les besoins de l'industrie correspond à des eaux de refroidissement, dans un circuit de refroidissement, l'eau est utilisée comme un simple fluide caloporteur du fait de sa forte chaleur spécifique et de son faible cout, même après traitement, par rapport aux autres fluides caloporteurs.

Les principaux problèmes qui se posent dans le circuit de refroidissement sont : l'entartrage, la corrosion, l'encrassement biologique.

Une prise de conscience générale de la gravité des problèmes nous a incités à mener cette étude pour analyser Pour cela il s'est avéré nécessaire de procéder à essayer de trouver les causes de ces problèmes.

IV.2 Introduction :

Dans le cadre de préparation de notre projet de fin d'étude, nous avons effectué un stage pratique au sein du complexe sidérurgique -Annaba ; l'unité rond à béton (LRB).L'objectif était de réaliser une étude théorique et expérimentale sur l'efficacité de l'eau de refroidissement dans l'industrie ; précisément l'unité LRB. Les analyses des eaux utilisées dans le circuit four ICW sont effectuées afin de tester la qualité de ces eaux et définir éventuellement certaines limites qui pourraient être corrigées par des traitements adaptés.

IV.3 Présentation du laboratoire sidérurgique:

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.

IV.3.1 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 40°C.

IV.3.2 Laboratoire de spectroscopie : Son rôle est de faire des analyses spectrales pour les métaux de l'usine et pour les additifs.

IV.3.3 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.

IV.3.4 Laboratoire des eaux : Son rôle est de contrôler la qualité des eaux sidérurgique qui sert à la production.

IV.4 L'eau étudiée:

Les prélèvements relatifs à cette étude ont été effectués quotidiennement entre février et mars 2023. Les échantillons d'eau adoucie sont prélevés à la sortie de l'adoucisseur qui alimente le circuit de refroidissement de four.

Le prélèvement des échantillons d'eau de circuit ICW se fait à la sortie du circuit four (ICW).

IV.5 Paramètres physico-chimique à analysés :

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

IV.5.1. Alcalinité :

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

On distingue :

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

$\text{TA} = [\text{OH}^-] + 1/2 [\text{CO}_3^{2-}]$. Il est déterminé par neutralisation à l'aide d'une solution d'acide sulfurique N/50 normale. La phénolphtaléine permet de détecter le point de virage du rose vers l'incolore, vers pH 8,3. Le titre alcalimétrique complet (TAC) : mesure la somme des alcalis libres, des carbonates et des bicarbonates :

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

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

IV.5.2. La dureté totale:

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

Type de dureté:

-La dureté calcique correspond seulement aux ions calcium.

-La dureté magnésienne correspond seulement aux ions magnésium.

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

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

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

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

La dureté calcique ou titre hydrotimétrique calcique TCa est déterminé également par complexométrie à l'EDTA en présence de la murexide en milieu très basique. La dureté magnésienne ou titre hydrotimétrique magnésien TMg est calculé à partir du TH et du TCa.

IV.5.3. Teneur en Chlorures:

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

IV.5.4. Potentiel d'hydrogène (pH) :

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

IV.5.5. Conductivité:

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

IV.5.6. Turbidité:

La turbidité est mesurée par la méthode néphélométrique ISO 7027. Un turbidimètre HACH modèle 18900 est utilisé. Son principe est basé sur la mesure de la dispersion des rayons lumineux par la solution. Plusieurs échelles de mesure permettent de déterminer avec précision la valeur de la turbidité. Pour chaque échelle l'appareil dispose de solution standard de calibration.

Tableau IV.1 : Classes de turbidité (NTU)

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

IV.5.7. Taux de salinité (TDS):

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

IV.6 Détermination des paramètres physico-chimiques:

IV.6.1 Détermination du titre hydrométrique (TH)

IV.6.1.1 Principe :

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

IV.6.1.2 Mode opératoire :

- On prélève 100ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer;
 - On verse environ 2ml de la solution tampon ;
 - On ajoute 4 à 5 gouttes de noir ériochrome T ;
 - Si la coloration est bleu nous concluons une absence de calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) ;
 - Si la coloration est rose violet, nous déduisons une présence de calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) dans l'échantillon étudié ;
- Pour ceci, il sera nécessaire de procéder à un titrage avec l'EDTA jusqu'à l'obtention de la coloration bleue. On lit directement sur la burette le TH exprimé en degré français

Figure IV.1 : présence de Ca^{2+} et Mg^{2+} Figure IV.2: absence de Ca^{2+} et Mg^{2+}

IV.6.1.3 Expression des résultats :

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

Pour convertir le TH en milligrammes de CaCO_3 au litre, On a : $1^\circ\text{F} = 10 \text{ mg de } \text{CaCO}_3 / \text{L}$

IV.6.2 Détermination de l'alcalinité « TA – TAC »

IV.6.2.1 Principe :

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

IV.6.2.2 Mode opératoire:

a. Détermination de TA :

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

- Une coloration rose doit alors se développer ; dans le cas contraire le TA est nul.
- On verse ensuite lentement l'acide sulfurique dans l'erenmeyer à l'aide d'une burette graduée, en agitant constamment jusqu'à décoloration complète de la solution. Le pH est alors de l'ordre de 8.3.
- On lit directement sur la burette le TA exprimé en degré français (°F).

b. Détermination de TAC :

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

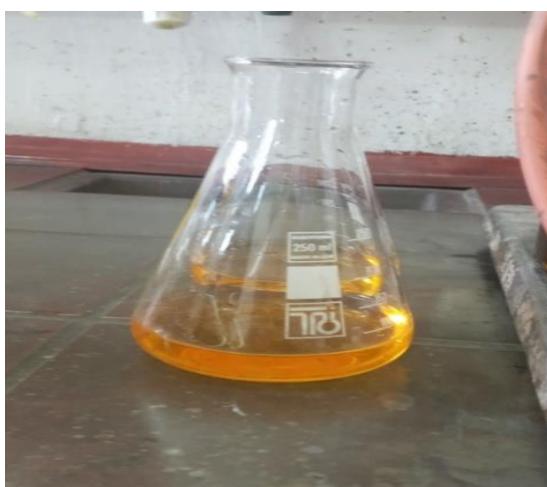


Figure IV.3 : Dosage volumétrique de TAC

IV.6.2.3 Expression des résultats :

V1 : volume d'acide en millilitres lu à la burette et exprime le TA en °F.

V2 : volume d'acide en millilitre lu à la burette.

Retrancher ce volume V2 de 0,5 ml correspond à la quantité d'acide nécessaire pour le virage de l'indicateur, qui est un peu plus faible que le pH de neutralisation des bicarbonates. Par conséquent $V2 - 0.5$ exprime le TAC en °F Pour convertir, ensuite, le TA et le TAC en milligrammes de CaCO_3 au litre, On a : $1^\circ\text{F} = 10 \text{ mg de CaCO}_3 / \text{L}$

IV.6.3 Détermination du titre calcique :

IV.6.3.1 Principe :

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

IV.6.3.2 Mode opératoire :

- Prélever 100 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 2ml de KOH et environ 0,4 g de l'indicateur ;

- Mélanger et doser immédiatement. Ajouter la solution d'EDTA tout en continuant d'agiter ;
- Verser lentement en fin de dosage, le virage est atteint lorsque la couleur devient nettement bleue.
- On lit directement sur la burette le TCa^{++} exprimé en degré français ($^{\circ}\text{F}$).

IV.6.3. Expression des résultats :

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

Pour convertir le TH en milligrammes de CaCO_3 au litre,

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

IV.6.4. Dosage du chlorure:

IV.6.4.1 Principe :

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

IV.6.4.2 Mode opératoire :

- Prélever 100 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 1 ml de chromate de potassium ;
- Dans le cas où la coloration est rouge brique nous concluons une absence des chlorures. Si la coloration est jaune, nous déduisons une présence des chlorures dans l'échantillon étudié ; pour ceci, il sera nécessaire de procéder à un titrage avec le nitrate d'argent à 0,1 N jusqu'à l'apparition d'une teinte rouge brique.
- On lit directement sur la burette le volume de nitrate d'argent

IV.6.4.3 Expression des résultats :

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

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

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

IV.6.5 Détermination de PH

IV.6.5.1 Principe :

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

IV.6.5.2 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'affichent 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.



Figure IV.4 : PH-mètre

IV.6.5.3 Expression des résultats

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

IV.6.6 Détermination de la conductivité :

IV.6.6.1 Principe :

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

IV.6.6.2 Le conductimètre

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



Figure IV.5 : conductimètre

IV.6.6.3 Expression des résultats

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

conductivité sera exprimée en TDS en mg/ L.

IV.6. 7 Détermination des matières en suspension

IV.6.7.1 Principe :

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

IV.6.7.2 Mode opératoire:

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



Figure IV.6 : Spectre H Dr 5000

IV.6.7.3 Expression des résultats :

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

IV.7 Analyse des paramètres physico-chimiques :

IV.7.1 Analyse du titre alcalimétrique complet (TAC) :

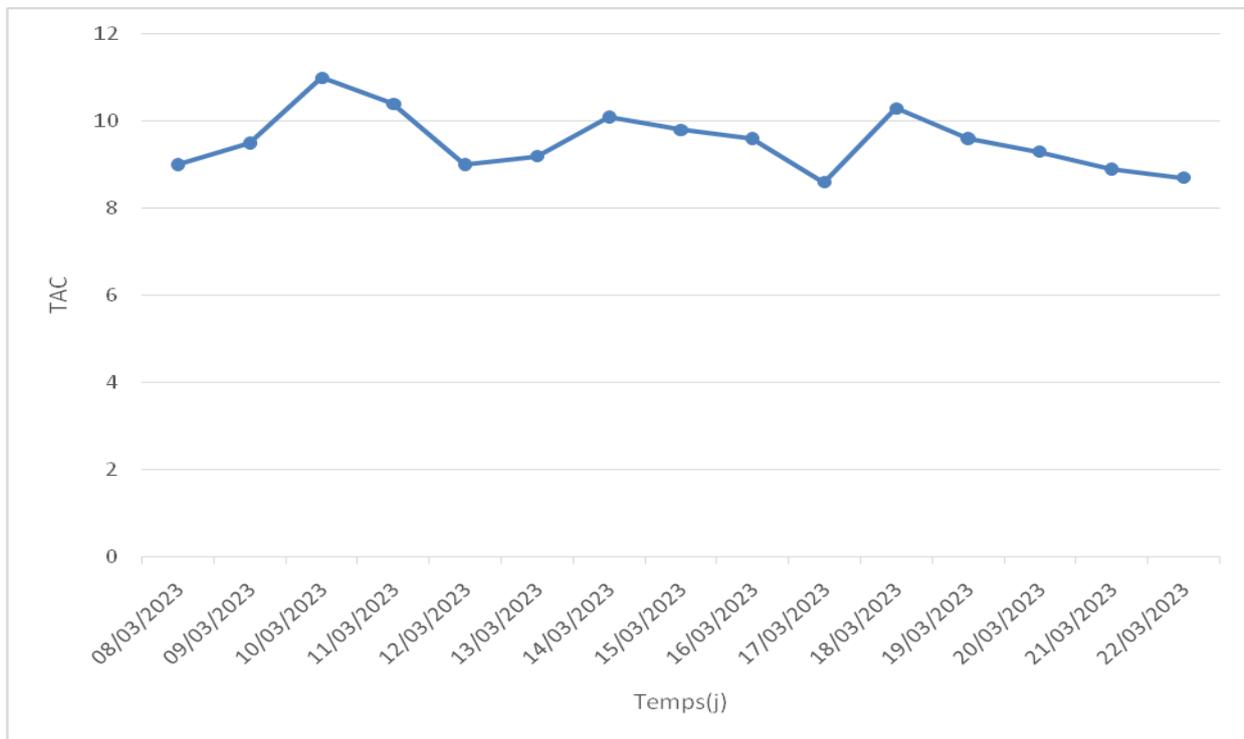


Figure IV.7: variation de l'alcalinité totale TAC de l'eau adoucie fonction du temps.

Le titre TAC exprime l'alcalinité totale de l'eau, il a une importance fondamentale dans la connaissance de la capacité d'entartrage de l'eau dans le traitement des eaux de refroidissement.

Les résultats d'analyses de TAC montrent que les teneurs en bicarbonates prennent des valeurs maximales de 11 °f pour l'eau adoucie. Ces valeurs hors normes ($TAC = 6^{\circ}f$). Ce qui affecte les caractéristiques de l'eau de refroidissement. cette augmentation du titre alcalimétrique complet est dû à la présence d'espèces basique elles que ions hydroxyde (OH^-), les ions carbonate (CO_3) et les ions **hydrogénocarbonate**(HCO_3^-) ce qui indique un mauvais traitement .

IV.7.2 Analyse du titre hydrométrique (TH):

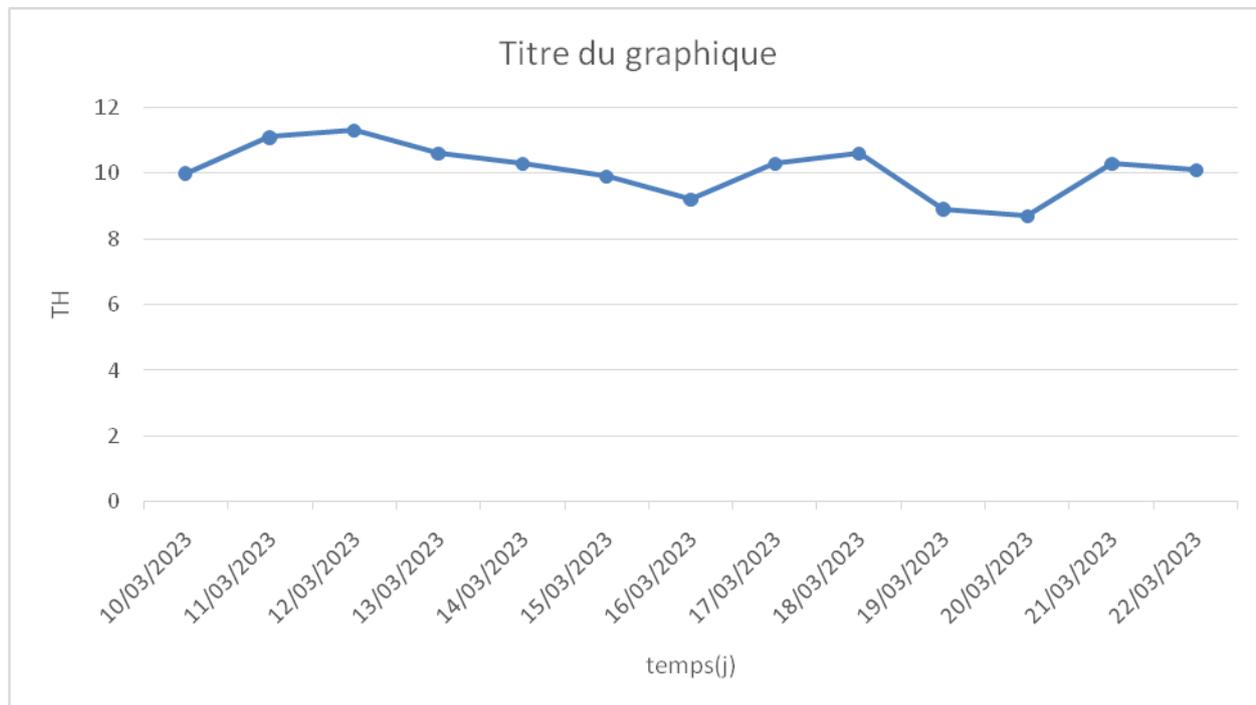


Figure IV.8 : Variation de dureté totale TH de l'eau adoucie en fonction du temps.

D'après la figure, on peut dire que les valeurs de TH sont supérieures aux normes ($TH < 7$ °f). Nous pouvons expliquer l'augmentation de dureté d'eau adoucie par vieillissement de l'adoucisseur et non fiabilité de processus de ou la régénération de la résine utilisé.

Une faible dureté ne permet pas l'élaboration de couche carbonatée pouvant participer à une protection des canalisations contre certains risques de corrosion ; par contre, une dureté élevée constitue un risque important d'entartrage des canalisations.

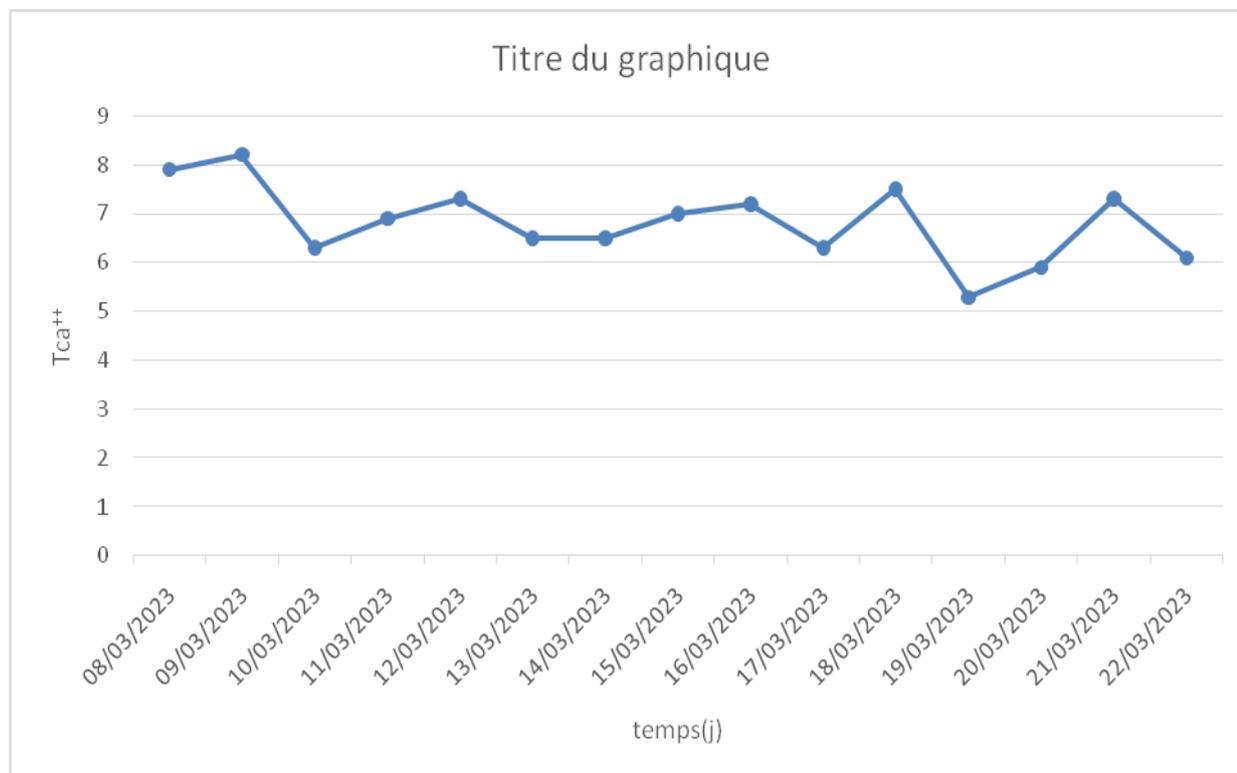
IV.7.3 Analyse du Titre calcique (TCa^{2+}):

Figure IV.9 : Les variations journalières du titre calcique en fonction du temps.

D'après les résultats obtenus on trouve que les valeurs de la teneur en calcium pour l'eau adoucie fluctuent entre (5.2 et 8.9 mg/l) donc les valeurs sont supérieures aux normes ($\text{Tca}^{++} < 5^\circ\text{f}$). Ceci indique que la présence des ions Ca^{++} dans l'eau est liée principalement, soit à la dissolution du carbonate de calcium (CaCO_3) ou à la dissolution des gypses (CaSO_4).

IV.7.4 Analyse du titre magnésienne:

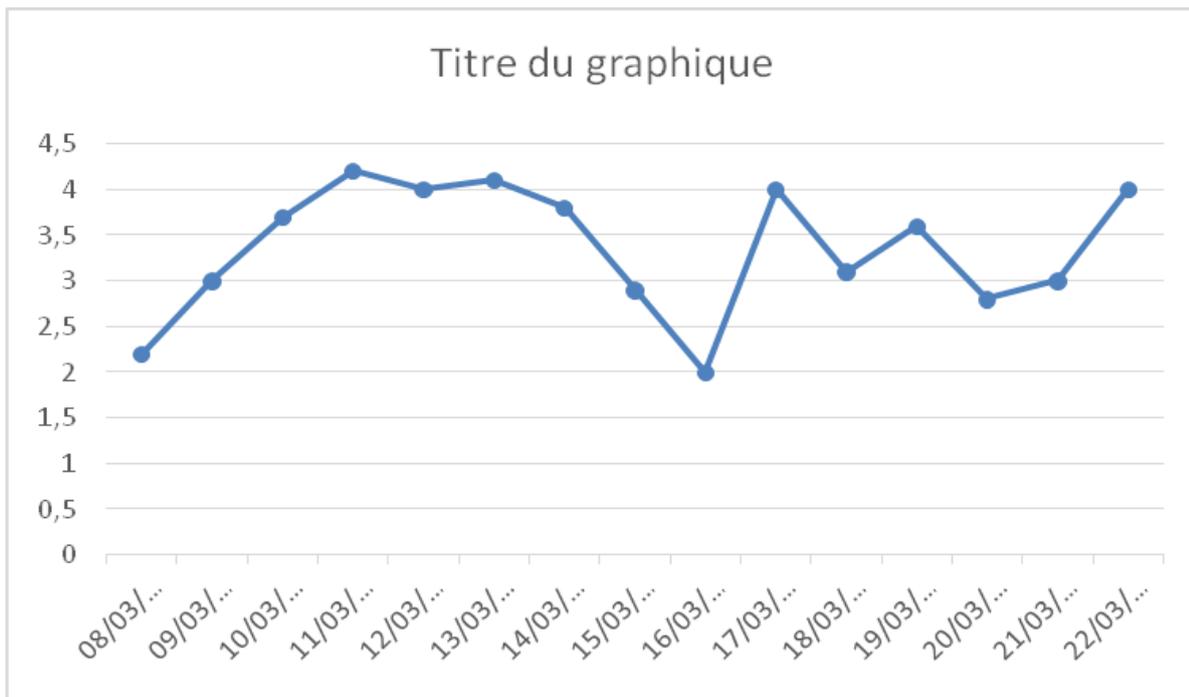


Figure IV.10 : La variation du teneur en magnésium en fonction du temps.

On observe que les valeurs du TMg^{++} sont entre (2 – 4.3) pour l'eau adoucie, donc les valeurs sont supérieur aux normes ($TMg^{++} < 2^{\circ}f$). Ceci indique que la présence des ions Mg^{++} dans l'eau.

IV.7.5 Analyse des ions chlorure :

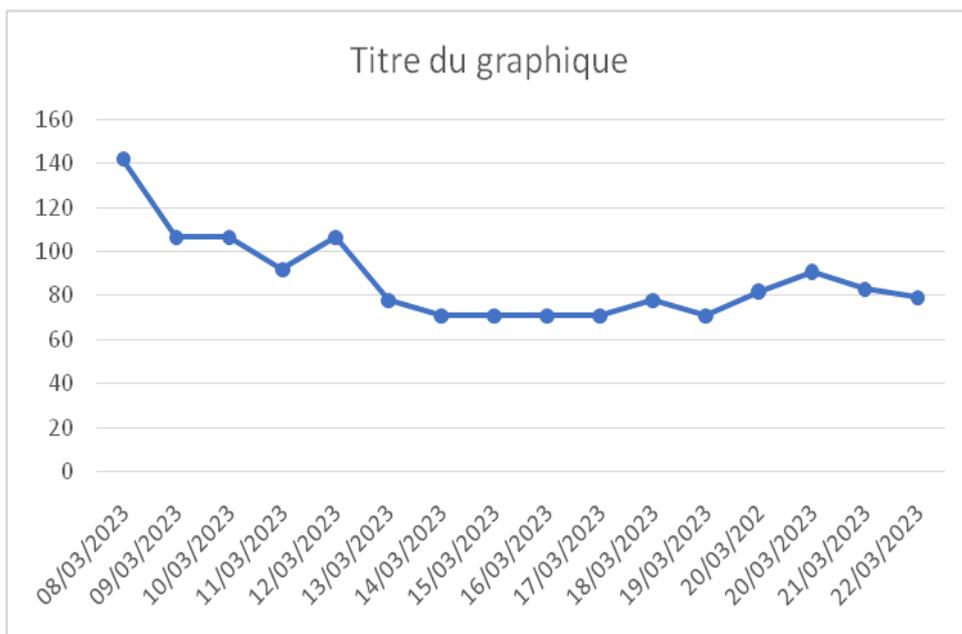


Figure IV.11 : Les variations des ions Cl en fonction du temps.

Nous avons remarquées la présence de chlorure avec des concentrations énormes a une teneur en chlorure qui dépasse les normes exigées (30 – 40Mg/L),les valeurs variée entre 70- 140 mg/l. Ceci peut être expliqué par un traitement limité qui pourrait facilement conduire à une corrosion.

En effet, l'ion chlorure s'hydrolyse dans l'eau pour former HClO et HCl provoquant localement de fortes chutes de pH et conséquemment une forte corrosion localisée.

Cette augmentation des chlorures nécessite un filtre à charbon actif qui a éliminé ou bien diminué la teneur en chlorure dans l'eau.

IV.7.5 Analyse du potentiel d'hydrogène PH :

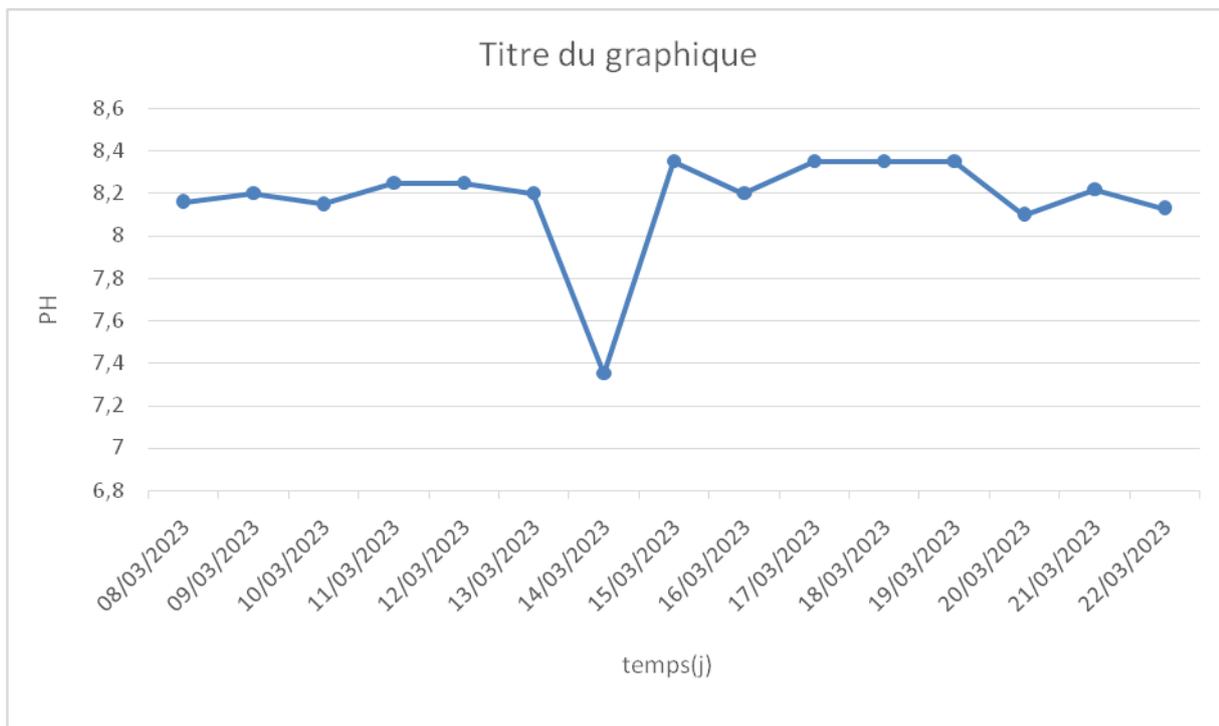


Figure IV.12 : Les variations du pH en fonction du temps.

Toutes les observations montrent que l'eau adoucie est une eau neutralisée, D'après les normes, le pH de l'eau de refroidissement doit varier entre 7,3 et 8,3. On peut remarquer que le pH reste toujours dans les normes.

IV.7.6 Analyse de teneur des matières en suspension (MES) :

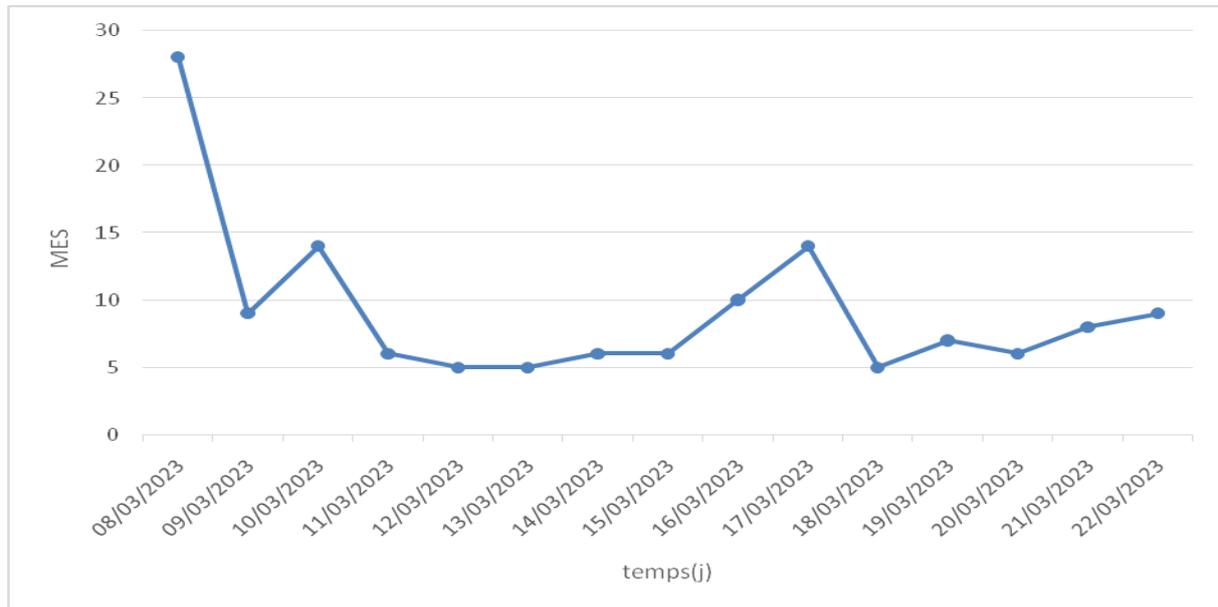


Figure IV.13 : la variation des matières en suspension d’eau adoucie en fonction du temps.

D’après la figure : on peut dire que la teneur des matières en suspension dans l’eau adoucie est élevée (5 NTU à 26 NTU) parce qu’il contient des résidus ou bien des masses.

La teneur des matières en suspension supérieur aux normes exigées ($MES \leq 5$ NTU). Les résultats montre que faible rendement de filtration car le filtre à sable peut être en panne ou hors service.

IV.7.7 Analyse du conductivité:

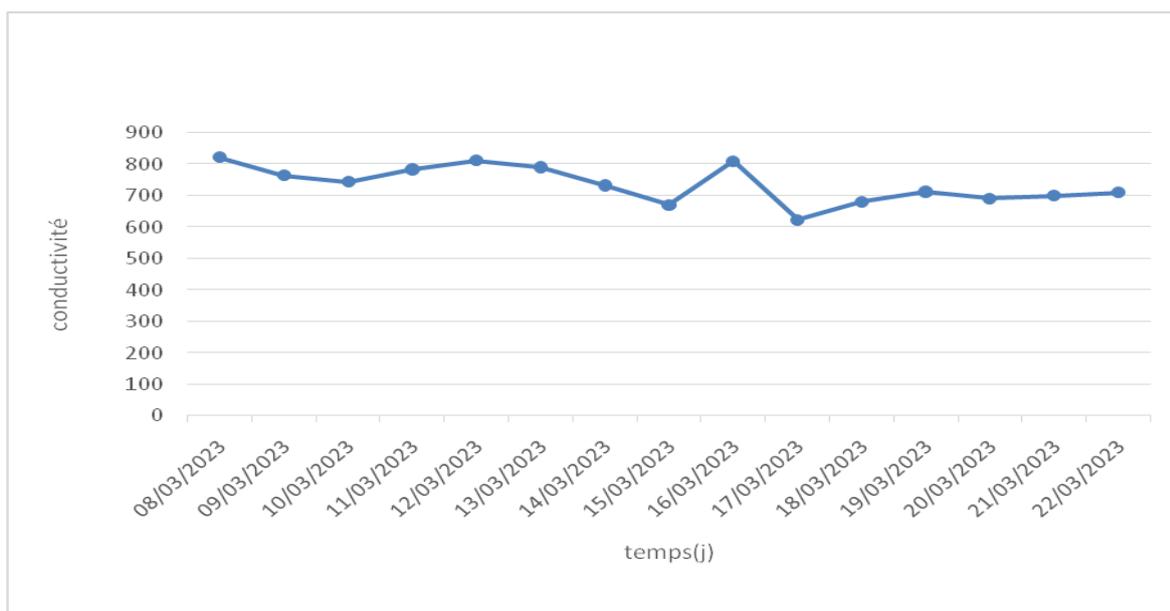


Figure IV.14 : Les variations de la conductivité en fonction du temps.

Les valeurs de la conductivité dans l'eau adoucie ne sont pas dans les normes. Nous pouvons dire que le traitement n'est pas efficace vu que les valeurs de la conductivité sont toutes hors norme exigées (300 – 400 $\mu\text{s/cm}$).

IV.7.8 Analyse du taux de salinité :

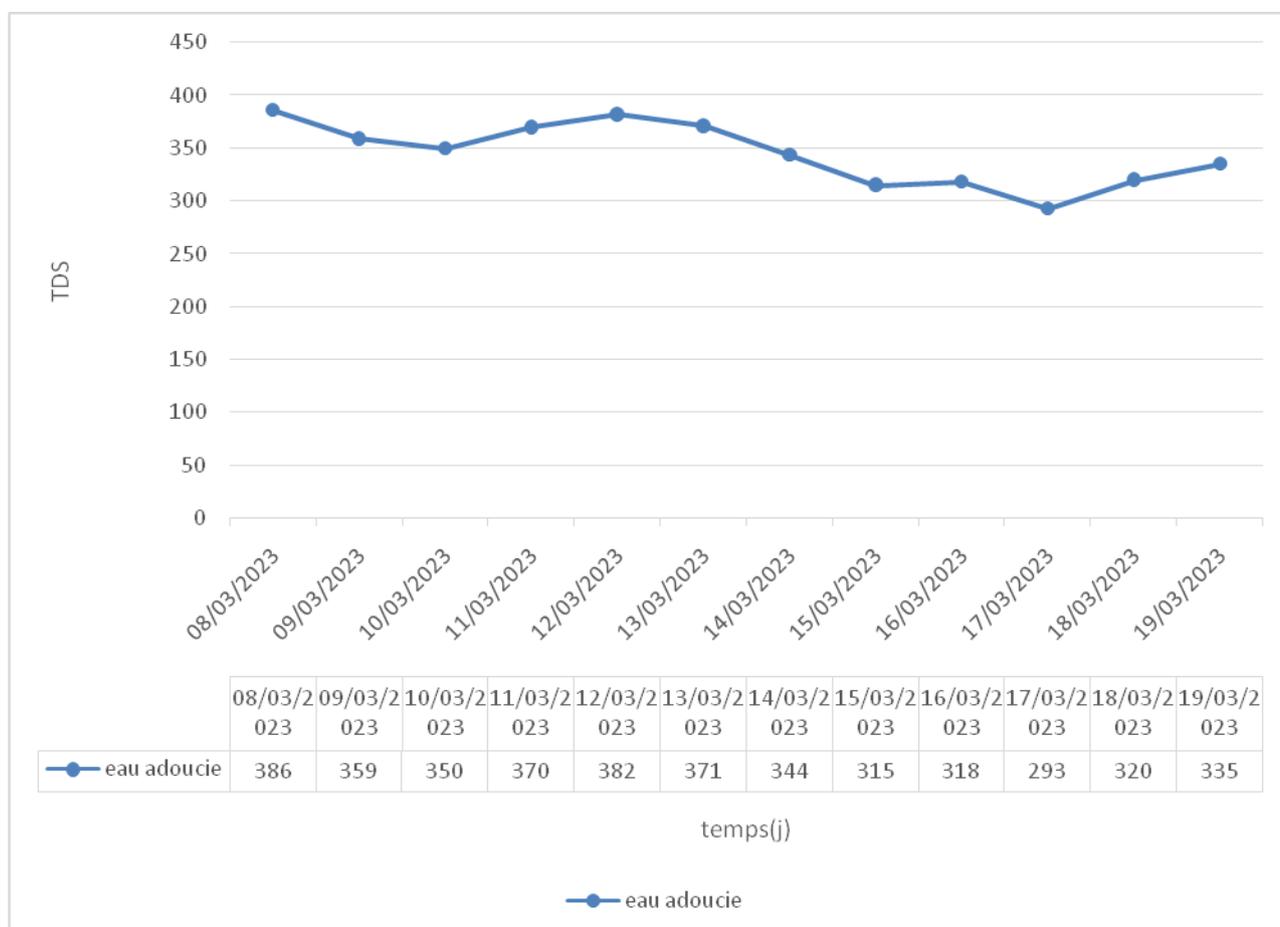


Figure IV.15 : Evolution de taux de salinité d'eau adoucie en fonction du temps

On remarque que l'allure pour les deux eaux donnent des fluctuations pour les deux types d'eaux. Mais reste toujours dans la norme. En effet, leurs minéralisations sont acceptables du moment qu'elles répondent aux normes.

IV.7.8 Analyse de la température:

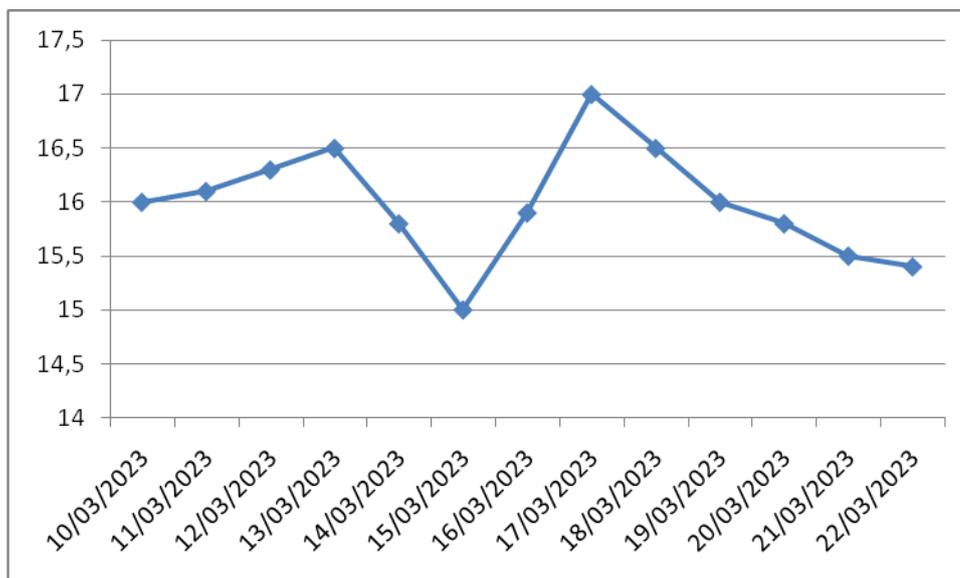


Figure IV.16 : Profil de température

La température a une influence directe sur la solubilité des sels en solutions. Elle participe à l'apparition de certains phénomènes comme l'entartrage est en conséquence sa mesure est indispensable.

Le profil de la température est représenté dans la figure III.4. On remarque que la température durant la période allant du 10/03/23 au 22/03/23 varie entre 16 et 15.4 °C soit une température moyenne de 15.7 °C. Les températures enregistrées sont dans la norme.

IV.8 Système de refroidissement :

Pour le refroidissement du four où la température est assez élevée, on a utilisé une eau adoucie car la température a un effet sur l'eau de refroidissement ainsi que la canalisation de circuit de refroidissement.

La présence d'une forte concentration en minéraux dans une conduite 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.

Tableau IV.2: Spécification techniques de l'adoucisseur :

Paramètres	Hauteur	Diameter	Débit d'entrée	pression	Volume de régénération
Valeurs	2900 mm	600 mm	10 m ³ /h	3 bar	240m ³ /jr

Tableau IV.3: Spécification techniques de la résine:

Paramètres	Hauteur	Diamètre	Capacité	Débit de régénération	Durée de vie	Temps de régénération	Poids de sel	Volume de résine
Valeurs	1000 mm	600 mm	0.35/h	15 m ³ /h	5-7 ans	10-15 min	54 kg	450 L

IV.9 Circuits de refroidissement:

Laminoir rond à biton (LRB) a trois (03) circuits nécessaires :

- Circuit de refroidissement **FOUR (ICW)**
- Circuit de refroidissement **CAGES(DCW)**
- Circuit de refroidissement **THERMEX (DCW BQ)**

Dans notre étude on se focaliser sur le circuit de refroidissement four (**ICW**).

IV.9.1 Composition de circuit de refroidissement :

- **Filtre à sable**
- **Adoucisseur** : qui utilise une résine échangeuse d'ions cationique fortement acide.
- **Réservoir d'eau adoucie** : le volume de ce réservoir est 50 m³.
- **Château d'eau de secours** : le volume de ce château d'eau est 50 m³ et une hauteur de H=45 m.
- **Bâche à eau** : est constituée
 - Deux pompes à eau centrifuge P1 (A/B) ; une en service et l'autre en réserve, avec un débit de 320 m³/h
 - Deux cellules Aéro-réfrigérantes (CT1 cooling Tower)

Le volume de ce bassin est 165m³.

Une fois l'eau refroidie, elle être une autre fois réutilisé vers le four.

IV.9.2 Description de circuit four (ICW) :

L'eau industrielle est envoyée à la station d'adoucissement passe par un filtre à sable afin de capter les MES, à la sortie il traverse un adoucisseur avec un débit de 10 m³/h pour diminuer le TH de cette eau, à une valeur de 0 à 0,5 °F.

L'eau adoucie est envoyée par pompe de station d'adoucissement vers un réservoir d'eau adoucie de capacité 50 m³. A partir de ce réservoir l'eau passe par gravité vers un bâche d'eau de capacité 165 m³, permettant le remplissage de **circuit de refroidissement du four (mur de séparation, longerons mobiles, tige défourneuse qui défourne la biellette à la sortie du four)**, et un château d'eau de capacité 50 m³ et 45 m d'hauteur assure les secours en cas de déclenchement électrique des pompes ou un clapet s'ouvre spontanément.

Une partie d'eau adoucie est envoyés vers : centrales hydrauliques, centrales de lubrifications, compresseur et autres.

Une fois que le circuit est rempli, on fait démarrer la pompe pour le refroidissement.

L'eau ayant déjà refroidis le circuit ICW passe par les échangeurs thermiques qui ramène l'eau maintient du niveau du réservoir gravitaire se fait par pompe, par l'intermédiaire du second niveau.

Dans ce circuit l'eau adoucie est conditionnée par un produit chimique inhibiteur de corrosion et d'entartrage et un produit biocide.

Ce circuit est un circuit semi-ouvert.

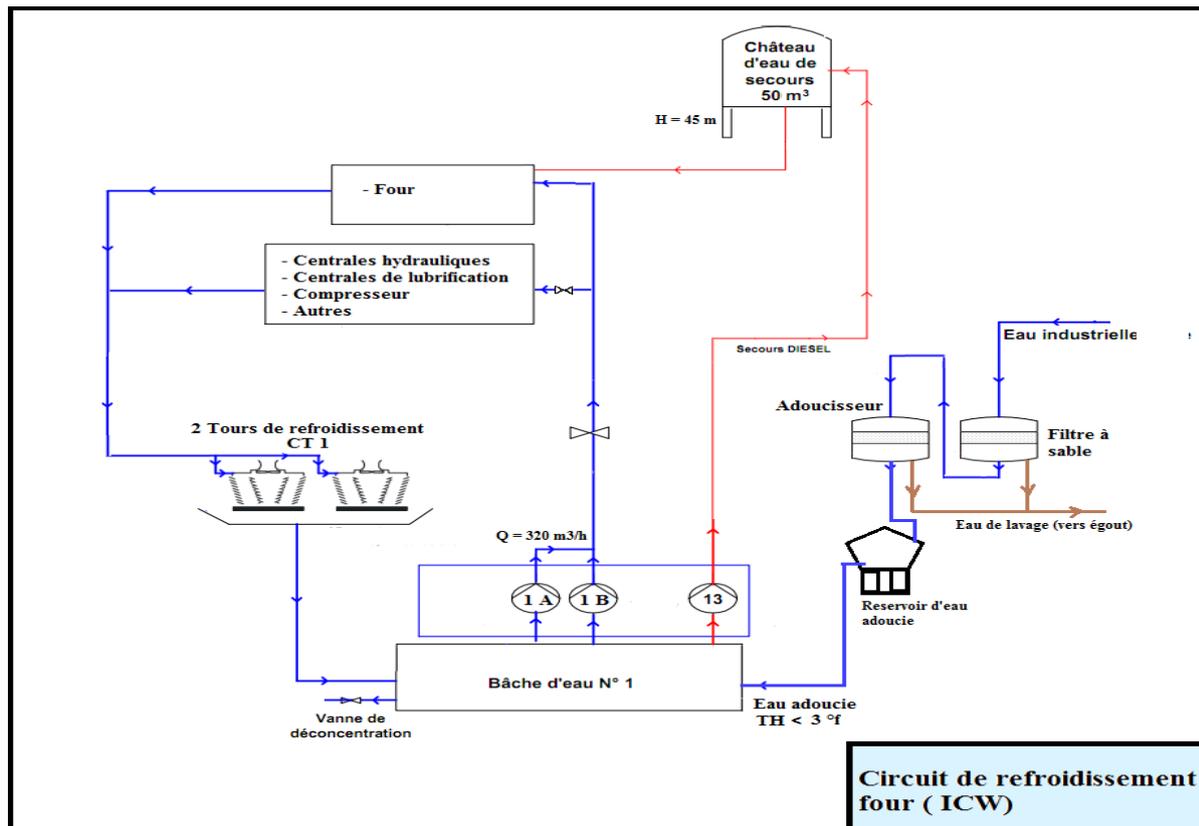


Figure IV.17: schéma du circuit de refroidissement four(ICW)

Tableau IV.4 : Spécification techniques :

Paramètres	T entré	T sortie	DT max	Début d'eau d'appoint
Valeurs	45°C	35°C	10°C	10 m ³ /h

IV.10 Conclusion:

Ce chapitre présente le contrôle des eaux de refroidissement. Il décrit également le circuit de refroidissement du four (ICW) au niveau de l'unité LRB du complexe sidérurgique d'El-Hadjar.

Conclusion générale :

Au cours de ce travail, qui a fait l'objet de ce mémoire, l'accent a été mis sur la qualité des eaux alimentaires du four d'unité LRB du complexe sidérurgique d'EL-Hadjar-Annaba. Pour cela, le suivi de l'analyse de différents paramètres physico-chimiques pour l'eau industrielle et adoucie a été contribué afin d'en établir le contrôle. Ensuite, l'eau industrielle est acheminée au niveau de l'unité LRB du complexe vers un traitement d'adoucissement pour obtenir l'eau adoucie qui sert à l'alimentation du four.

Les résultats des analyses obtenus d'eau adoucie en ressort clairement, que la plupart des paramètres qu'on suivi tels que : T, PH, TA, TDS, sont dans les normes cela montre un bon traitement de l'eau adoucie, mais les résultats d'analyse de TAC pour les deux type d'eaux (entrée et sortie du four) montrent que les teneurs en bicarbonates dépassent les normes, ce qui affecter les caractéristiques de l'eau de refroidissement du circuit four.

L'analyse de la dureté (teneur en Ca^{2+} et Mg^{2+}) est par conséquent hors norme, à cause du non-respect des protocoles du traitement, ce qui provoquera certainement le bouchage des tubes.

Nos constatés de cette étude, en générale, sont qu'une minimisation des dépôts de tartres et de corrosion dans les circuits de refroidissement est la clé d'une exploitation efficace. Un bon traitement des eaux industrielles avant l'entrée dans le four protège cil-ci contre l'attaque agressive de l'eau.

On peut donc relater, que le contrôle et le conditionnement de l'eau d'alimentation sont un concept très important pour protéger les équipements contre les phénomènes d'entartrage et de corrosion.

On se propose pour mieux contrôler la qualité de cette eau de :

- Remettre en service le système de purge automatique ;
- Faire des analyses physico-chimique sur site pour accélérer les systèmes de correction ;
- Faire les analyses de la silice, SiO_3^{-2} , au niveau du laboratoire car c'est un paramètres très important pour le suivi de la qualité de l'eau de refroidissement.
- Remettre en service le système de régénération automatique (l'ajout d'un micro vanne) ;

Références bibliographique

[1] : dossier technique LRB

[2] : document délivré à SIDER-EL HADJAR

[3] : document technique (zone fluide) : paramètres physico-chimiques des eaux brutes et industrielles

[4] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Adoucissement_de_l'eau

[5] : <https://aquaeva-services.fr/conseils/le-processus-dadoucissement-de-leau/>

[6] : <https://elyotherm.fr/principe-fonctionnement-adoucisseur#:~:text=L%27adoucisseur%20est%20un%20appareil,la%20résine%20de%20l%27adoucisseur.>

[7] : <https://elyotherm.fr/principe-fonctionnement-adoucisseur#:~:text=L%27adoucisseur%20est%20un%20appareil,la%20résine%20de%20l%27adoucisseur.>

[8] : DIALLO SALE et DJIBRINE GOMBO ADEF ; contrôle de qualité de l'eau d'alimentation de la chaudière SITERM (SIDER EL HADJAR-ANNABA).mémoire de fin d'étude. Département de génie des procédés, université Badji Mokhtar-Annaba,2019 ;

[9] : <https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/traitement-et-conditionnement-des-eaux-industrielles/eaux-de-refroidissement/problematiques-liees-a-la-qualite-d-eau-et-aux-conditions-d-exploitation>

[10] : DALI. B et KHELIFI. D ; Traitement et contrôle de qualité des eaux de refroidissement des barres d'acier au niveau de l'aciérie à oxygène (ACO1) du complexe

sidérurgique d'El Hadjar, mémoire de fin d'étude. Département de génie des procédés, université Badji Mokhtar-Annaba, 2022 ;

[11] : https://energyeducation.ca/fr/Chaleur_r%C3%A9siduelle

[12] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Refroidissement_%C3%A0_eau

[13] : [MEMOIRE DE FIN D'ETUDE. PRESENTE PAR : TSE Bi Tra Darius. ANNEE.1992-1993par le robinet de purge de déconcentration placé à l'entrée de la tour.](#)

[14] : https://media.xpair.com/pdf/SF/tour_refroidissement_legionellose.pdf

[15] : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/gestion-de-l-eau-par-les-industriels-42447210/traitement-des-eaux-de-refroidissement-w9003/installations-de-refroidissement-w9003v2niv10003.html>

[16] : <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=BEKHADOUMA.+M+A+%2C+Benali.+M+A.+Am%C3%A9lioration+de+la+qualit%C3%A9+d%E2%80%99eau+de+refroidissement+au+sein+de+CP1%2FZ.+M%C3%A9moire+master.+Unive rsit%C3%A9+des+Sciences+et+de+la+Technologie+Mohamed+Boudiaf+d%E2%80%99Oran%2C+2014>

[17] : <https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2022/03/Memoire-CD.pdf>

[18] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Tour_a%C3%A9ror%C3%A9frig%C3%A9rante

[19] : Réff : KHALDI M.AMINE (2017). Amélioration et qualité d'eau de refroidissement au sein de CCP1/Z.

[20] : <http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/8470/1/Memoire%20MASTER2.pdf>