

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABBES LAGHROUR  
KHENCHELA

FACULTE DES SCIENCES & DE LA  
TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE  
INDUSTRIEL



جامعة عباس لغرور خنشلة

كلية العلوم و التكنولوجيا

قسم: الهندسة الصناعية

No. Réf. : ...../...../2021

Mémoire

Présenté par : Aouda Oumnia & Meddour Sabah

Pour obtenir le diplôme de MASTER (LMD) OPTION:

Génie Des Procédés et L'environnement

*Thème*

**Les eaux de refroidissement et leurs impacts sur  
l'environnement**

Devant le jury:

Mr.	NEDJAR.Z	President	U.A.L.K
Mr.	DJEFFAL. K	Rapporteur	U.A.L.K
Mr.	MAKHLOUF.A	Examineur	U.A.L.K

Année universitaire : 2020–2021

## Remerciement

*Nous commençons par remercier ﷻ qui nous a donné la volonté, la santé, le courage et surtout la patience pour pouvoir produire ce modeste travail et faire face à toutes les contraintes qui se sont posées au cours de son élaboration.*

*Nous remercions chaleureusement notre encadreur Monsieur DJEFAL pour ses valeureux conseils, pour son précieux temps qui a été consacré pour nous, par son encouragement durant l'élaboration de ce mémoire.*

*Nous remercions également tous les enseignants d'université Khenchela qui ont participé au cursus de notre formation*

*Nous adressons aussi un grand merci à tous les personnels de département de sciences et techniques  
Enfin nous remercions tous ceux qui en contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*

Dédicace individuelle

*J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail en particulièrement  
A mon père Pour leur et leur soutenir.*

*A celle qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, à toi chère  
Maman toutes mes joies, mon amour  
et ma reconnaissance*

*À Mes chers frères : LAZHAR ,A. ALI ,A. ALBARI*

*À toutes Ma familles :*

*À mon encadreur DJEFAL KHALED*

*À tous mes professeurs*

*A mes chers amis*

*SAMIRA ,FATIMA ,AMEL ,SANA, CHAIMA mon binôme OUMNIA*

*A toutes la promotion de Génie des procédés avancée*

*2020/2021*

*Et en fin à :*

*Toute les personnes accepté ce travail*

*SABAH*

Dédicace individuelle

*dédie ce modeste travail*

*A mes chers parents surtout ma mère sur leur soutien,  
leur patience, leur encouragement durant mon  
parcours scolaire.*

*A mes sœurs MARWA, MALAK, HAMSSA, et j'oublié  
pas ma chère sœur AMIRA, ainsi que a toute ma  
famille AOUDA, HARRATH.*

*A tous mes amies,*

*A l'ensemble des étudiantes de la promotion master  
LMD/ST de l'année 2020/2021.*

# SOMMAIRE

**Remerciement**

**Dédicace**

**Liste des tableaux**

**Liste des figures**

**Résumé**

**Introduction générale** **1**

## **Chapitre I :Refroidissement des eaux**

Introduction	2
I.1. Définition des tours de refroidissement	2
I.2. Type de circuit	2
I.2.1. Circuit ouvert	2
I.2.2 Circuits semi-ouverts	3
I.2.3 Circuits fermés	4
I.3. Qualité des eaux de refroidissement	4
I.4.Caractéristiques principales d'un circuit de refroidissement	5
I.5.Phénomène de corrosion, entartrage et prolifération biologique	7
I.5.1.Corrosion	7
I.5.2. Entartrage	8
I.5.3.Prolifération biologique	9
I.6. Critère de qualité des eaux de refroidissement	10
I.7.Quelques importants paramètres pour la qualité de l'eau de refroidissement	12
I.8.Les principaux procédés de traitement de l'eau au point d'utilisation	12
I.8.1.Adoucissement	12
I.8.2.Déminéralisation	13
I.8.3.Osmose Inverse	13
I.8.4.Désinfection par ultraviolets	14
I.8.5.Désinfection par produits chimiques	14
I.8.6.Dénitratation sur résine	15
I.8.7.Décarbonatation sur résine	15

I.8.8.Décarbonatation à la chaux	16
I.9.Conditionnement de l'eau par adjonction de produits chimiques	16
I.10.Filtre à sable	16
I.11.Filtre à cartouche	17
I.12.Filtre à charbon actif	17
I.13.Conclusion	18
<b>Références bibliographiques</b>	<b>19</b>

## **Chapitre II : système de refroidissement à SCIMAT**

Introduction	20
II.1. Généralité sur la cimenterie de SCIMAT	20
II.2.Type de ciment	21
II.2.1. Définition d'un ciment	21
II.3. Classification en fonction de leur résistance à la compression	22
II.4.Classification des ciments en fonction de leur composition	22
II.5.Autres types de ciments	24
II.6.Utilisation des catégories principales du ciment	24
II.7. Procédés de fabrication de ciment	25
II.7.1.Fabrication par voie humide	26
II.7.2.Fabrication par voie semi-humide	27
II.7.3.Fabrication par voie sèche	27
II.7.4.Fabrication par voie semi-sèche	27
II.8.Comparaison des différentes voies de fabrication	28
II.9. Extraction et la préparation des matières premières	30
II.10.Fabrication de ciment	33
II.10.1.Broyage de cru	34
II.10.2.Cuisson	35
II.10.3.Broyage du ciment	37
II.10.4. Refroidissement du ciment	38
II.10.5. Expédition	38
II.11. Système de refroidissement	38
II.11.1. Circuit de refroidissement	39

II.11.1.1.Refroidissement palier four rotatif	39
II.12. Diagnostic de circuits de refroidissement à SCIMAT	40
II.13.Conclusion	41
<b>Références bibliographiques</b>	<b>42</b>

### **Chapitre III :Etude de qualité des eaux de refroidissement**

Introduction	43
III.1. Les différents types des eaux aux niveaux de la société	43
III.1.1. Les eaux brutes	43
III.1.2. Les eaux traitées	43
III.2.Station de traitement des eaux	44
III.3. Circuit de refroidissement	46
III.4. Qualité des eaux destinées à l'alimentation de circuit de refroidissement	47
III.5. Problèmes détectés au niveau du circuit de refroidissement	49
III.5.1.Problèmes de corrosion, entartrage et prolifération biologique	49
III.6.Solution proposées	50
III.7.Conclusion	50
<b>Conclusion générale</b>	<b>51</b>

## **LISTE DES TABLEAUX**

**Tableau 1.1 :** Solubilité de quelques sels peu solubles

**Tableau I.2 :** Procédés de protection des circuits fermés

**Tableau I.3 :** Valeurs limites pour les caractéristiques de l'eau de circulation de la tour refroidissement conformément à la norme VDI 3803.

**Tableau II.1 :** Classe de ciments normalisés en fonction de leurs résistances à la compression

**Tableau II.2 :** Désignation des différents types du ciment en fonction de leur composition

**Tableau II.3 :** Les différentes voies de fabrication

**Tableau II.4 :** Caractéristiques d'un concasseur à marteau de type EV

**Tableau III.1 :** Les analyses physico-chimiques au niveau du laboratoire

## LISTE DES FIGURES

**Figure I.1 :** Circuit ouvert

**Figure II.1 :** Situation géographique de la cimenterie

**Figure II.2 :** Les différentes voies de fabrication du ciment

**Figure II.3 :** Processus de fabrication de ciment

**Figure II.4 :** Situation géographique du gisement de AIN –TOUTA

**Figure II.5:** Schéma du concasseur à marteaux

**Figure II.6 :** Abatage, concassage et stockage

**Figure II.7 :** Broyeur à boulet

**Figure II.8 :** fours

**Figure II.9:** les ballonets de refroidissement de clinker

**Figure III.1 :** Schéma de la station de traitement des eaux

**Figure III.2 :** Schéma de la station de traitement des eaux de l'usine.

**Figure III.3:** Schéma de circuit de refroidissement

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

$\Delta T$  (°X) : l'écart de température

$T_s$  (°C) : température de l'eau sortie

$T_e$  (°C) : température de l'eau entre

$V$  (m<sup>3</sup>) : volume de circuit

$Q$  (m<sup>3</sup>/h) : débit de circulation

$W$  (Kcal/h) : puissance de réfrigèrent

$E$  (m<sup>3</sup>/h) : débit d'évaporation

$E_v$  (m<sup>3</sup>/h) : débit d'entraînement vésiculaire

$P$  (m<sup>3</sup>/h) : débit de la purge

$D$  (m<sup>3</sup>/h) : déconcentration totale

$A$  (m<sup>3</sup>/h) : débit d'appoint

$C$  : taux de concentration

$Fe$  : fer

$Fe^{2+}$  : fer ionisé

$OH^-$  : des ions hydroxydes

$H_2O$  : eau

$O_2$  : oxygène

$Ca$  : calcium

$Mg$  : magnésium

$Na$  : sodium

$NaCl$  : chlorure de sodium

$UV$  : ultraviolets

$TH$  : dureté totale

$H^+$  : ion d'hydrogène

$Ca(OH)_2$  : hydroxyde de calcium

$E.C.S$  : eaux chaudes sanitaires

**CEM I:** Ciment portland (CPA - dans la notation française)

**CEM II:** Ciment portland composé (CPJ)

**CEM III:** Ciment de haut fourneau(CHF)

**CEM IV:** Ciment pouzzolanique(CPZ)

**CEM V:** Ciment au laitier et aux cendres(CLC)

**CRS :** Ciment résistant aux sulfates

**CaCO<sub>3</sub> :** calcaire

**SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup> :** Silicate

**CaO :** oxyde de calcium

**Na<sub>2</sub>O :** oxyde de sodium

**K<sub>2</sub>O :** oxyde de potassium

**TRASAR 3DT149 :** inhibiteur

**L :** réservoir

**K8 :** destinées à alimenter le circuit incendie en eau brute

**K9, k10 :** pompe 50m<sup>3</sup> / heure d'eau pour filtre à charbon actif

**K20, K21 :** deux ventilateurs

**P1, P2 et P3 :** les postes de pompage

**L1et L2 :** les eaux de forage

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

**TAC :** Titre Alcalimétrique Complet

## Résumé

Les eaux de refroidissement sont largement utilisées dans la plupart de l'industrie des notamment dans les centrales électriques thermiques ou nucléaires, dans la sidérurgie et dans l'industrie chimique et pétrochimique. Le circuit de refroidissement dans la cimenterie d'AIN TOUTA (SCIMAT) est de type fermé, sert à refroidir l'huile du moteur, ciment ainsi que les machines de fabrication.

La qualité des eaux alimentant le circuit de refroidissement semble moins bon. Cette qualité a provoquée des problèmes dans le circuit de refroidissement tels que le dépôt des tartres, la corrosion des conduites et la prolifération des microorganismes. Pour minimiser ses problèmes l'ajout d'autres inhibiteurs anticorrosion et antitartre s'avère nécessaire en plus de ceux utilisés à SCIMAT tels que NALCO 3D TRASAR 3DT149 et l'acide sulfurique.

**Mots clés :** Circuit de refroidissement, Dépôt, Inhibiteur, Corrosion

## Abstract

Cooling waters are widely used in most industry, particularly in thermal or nuclear power plants, in the steel industry, and in the chemical and petrochemical industry. The cooling circuit in the AIN TOUTA cement plant (SCIMAT) is of the closed type, used to cool engine oil, cement and manufacturing machinery.

The quality of the water supplying the cooling circuit seems less good. This quality has caused problems in the cooling system such as scale deposits, corrosion of the pipes and the proliferation of microorganisms. To minimize its problems the addition of other corrosion inhibitors and scale inhibitors is necessary in addition to those used at SCIMAT such as NALCO 3D TRASAR 3DT149 and sulfuric acid.

**Keywords:** Cooling system, Deposit, Inhibitor, Corrosion

## ملخص

تستخدم مياه التبريد على نطاق واسع في معظم الصناعات، لاسيما في محطات الطاقة الحرارية أو النووية، وفي صناعة الصلب، وفي صناعة الكيماويات والبتروكيماويات. دائرة التبريد في مصنع أسمنت عين توتا SCIMAT من النوع المغلق، وتستخدم لتبريد زيت المحرك والأسمنت وآلات التصنيع.

تبدو جودة المياه التي تزود دائرة التبريد اقل جودة. تسببت هذه الجودة في حدوث مشكلات في نظام التبريد مثل ترسبات القشور وتآكل الأنابيب وانتشار الكائنات الحية الدقيقة. لتقليل مشاكلها، من الضروري إضافة مثبطات التآكل ومثبطات التقشر الأخرى بالإضافة إلى تلك المستخدمة في SCIMAT مثل NALCO 3D TRASAR 3DT149 وحمض الكبريتيك.

**الكلمات المفتاحية:** نظام التبريد ، الترسيب ، المثبط ، التآكل

---

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

---

### Introduction générale

L'utilisation à usage unique de l'eau est encore répandue même si depuis quelques années des efforts ont été faits pour développer sa réutilisation pour de multiples raisons.

L'eau est un besoin vital ; elle est indispensable au développement des sociétés. Cependant son utilisation anarchique conduit à des interférences nuisibles pour ses utilisateurs. D'un point de vue purement technique ; traiter les eaux n'est autre que maîtriser les coups qui y sont contenus ; de façon à rendre l'eau propre à l'usage que l'on a l'intention d'en faire.

Economiquement, l'utilisation en passage direct de l'eau n'est pas toujours possible non plus ; l'eau entrant dans les installations doit avoir des caractéristiques bien définies pour être utilisée dans le procédé industriel et cela implique un traitement qui, s'il est coûteux, ne peut être rendu économique que dans la mesure où l'eau est recyclée.

Les eaux de refroidissement doivent être de bonne qualité et adéquate avec l'usage dont elles sont destinées car une mauvaise qualité peut influencer négativement sur le refroidissement des machines. Le traitement des eaux de refroidissement propose des solutions concrètes couvrant l'ensemble des problèmes que pose la gestion de circuits de refroidissement industriel et de leurs rejets.

Le but de notre étude consiste à la présentation du circuit de refroidissement de la cimenterie Ain-Touta et à la détermination de la qualité physicochimique des eaux de refroidissement pour pallier les problèmes qui peuvent exister dans le cas d'une qualité d'eau médiocre.

Pour ce faire, la présente étude sera composée de trois chapitres. Le premier chapitre englobe des généralités sur le refroidissement des eaux, les types de refroidisseurs ainsi que les problèmes liés aux circuits de refroidissements. Le deuxième chapitre récapitule la représentation de la cimenterie d'Ain-Touta ainsi que le procédé de fabrication du ciment et le système de refroidissement industriel de l'usine.

Le dernier chapitre sera consacré à la détermination de la qualité des eaux de refroidissement et les problèmes rencontrés dans le système de refroidissement industriel.

## CHAPITRE I

---

# GÉNÉRALITÉS SUR LES EAUX DE REFROIDISSEMENT

---

**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 de la fonte et de l'acier, 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.

**I.1. Définition de Tours de refroidissement**

Les tours de refroidissement sont utilisées pour refroidir un liquide ou un gaz à l'aide d'un moyen de refroidissement. Il s'agit d'un cas particulier d'un échangeur de chaleur où le transfert thermique s'effectue par contact direct ou indirect entre les flux. Le moyen de refroidissement de telles installations est le plus souvent l'air ambiant. Les tours de refroidissement sont des équipements courants, présents dans des installations de climatisation, ou dans des procédés industriels et énergétiques. [1]

**I.2. Type de circuits**

Il existe trois types de circuits de refroidissement :

**I.2.1 Circuits ouverts**

Dans un circuit ouvert l'eau froide est prélevée d'une mer, une rivière, un forage ou d'un réseau de distribution ; ne passe qu'une seule fois dans l'appareil à refroidir puis est rejetée dans le milieu environnant.

Les vitesses de circulation sont généralement élevées et de ce fait l'accroissement de température est faible. Il faut néanmoins lutter contre l'entartrage aux points chauds, lorsqu'on utilise des eaux fortement minéralisées.

Pour les eaux de rivières et de forage, on injecte une faible quantité de réactif à base de phosphate, et pour les eaux de mer fortement chargées en chlorures, on utilise uniquement du chlore pour éviter la prolifération des algues, des moules dues à la chaleur et la lumière.

Ces avantages sont la simplicité d'exploitation, le faible cout d'investissement.

Ces inconvénients sont la consommation excessive des produits chimiques et le traitement des rejets (température élevée).

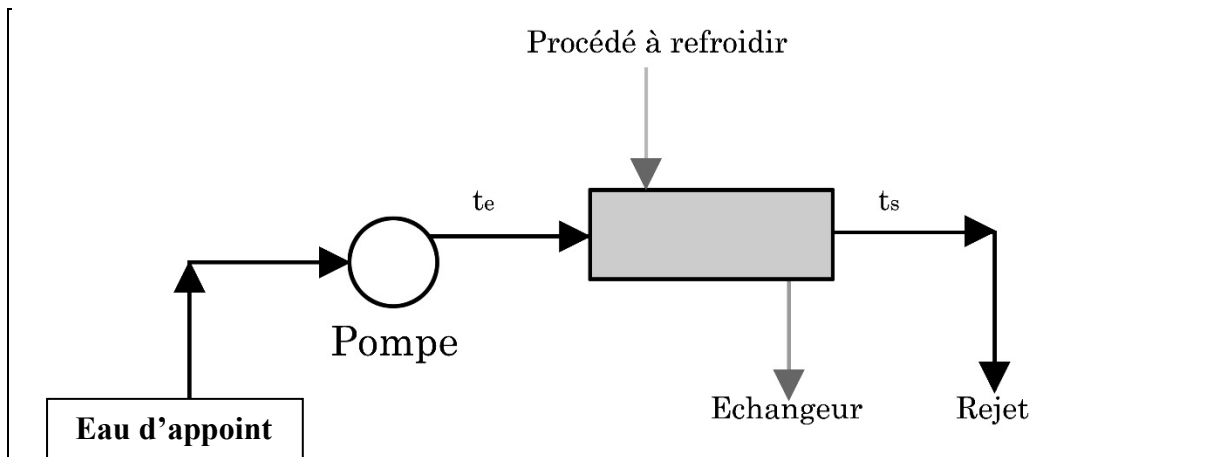


Figure1.1 : Circuit ouvert

Le circuit est caractérisé par le débit  $Q$  d'eau de refroidissement et par l'écart de température de l'eau entre l'entrée et la sortie des équipements refroidis :

$$\Delta T (^{\circ}X) = T_s - T_e \text{ [2]}$$

Tels que :

$\Delta T (^{\circ}X)$  : l'écart de température

$T_s$  : température de l'eau sortie

$T_e$  : température de l'eau entre

### I.2.2 Circuits semi-ouverts

L'eau est recyclée après refroidissement par passage dans une tour aéroréfrigérante (tour de refroidissement) dans laquelle est refroidie à son tour par contact avec l'air. Ce type de circuit est très utilisé dans l'industrie.

Il existe différents types de tour de refroidissement, classés généralement par le mode de création du contact d'air appelée aussi tirage. Le tirage peut être :

- **Naturel** : dans ce type de tour dite aussi hyperbolique en raison de sa forme, la circulation de l'air se fait à contre-courant par rapport à l'eau à refroidir. On retrouve ce type de tour généralement de très grandes dimensions dans les centrales thermiques et nucléaires.
- **Forcé** : dans ce type de tour l'air, circule, dans la tour sous l'effet d'une ventilation mécanique provoquée par un ventilateur latéral qui pousse l'air dans la tour.
- **Induit** : l'air est aspiré à travers la tour par un ventilateur situé au sommet de la tour. Ce type de tour est très fréquent.

Le transfert de chaleur de l'eau à l'air ambiant s'effectue par convection et par évaporation d'une partie de cette eau jusqu'à saturation de l'air en humidité. Selon la température et l'humidité de l'air à l'entrée du réfrigérant, 5 à 15% de la chaleur sont évacués par convection. La consommation d'eau représente une fraction du débit recyclé et correspond :

- À l'évaporation ;
- À l'entraînement de gouttelettes (entraînement vésiculaire) ;
- Aux purges de déconcentration ;
- À des prélèvements directs et aux fuites.

L'eau d'appoint doit généralement être traitée avant d'être admise dans le circuit. Les avantages des circuits semi-ouverts sont la possibilité de gros débits, une faible consommation d'eau d'appoint, une consommation réduite de réactifs, et une meilleure protection contre la corrosion et l'entartrage que dans le cas des circuits ouverts

### **I.2.3 Circuits fermés**

L'eau circule en boucle fermée, une source froide, généralement un aéro-réfrigérant élimine la chaleur prise au procédé. Mise à part les fuites il n'y a pas de consommation autre que le remplissage du circuit. Ceci nécessite un conditionnement chimique de l'eau fortement dosé. Ces avantages sont l'impact très faible sur l'environnement, le coût de l'eau et des réactifs négligeables et le peu de contrôle à effectuer. Ces inconvénients sont un coût de construction très élevé, une consommation électrique très importante et un abaissement de température dans l'aéro-réfrigérant limité. [3]

### **I.3. Qualité des eaux de refroidissement**

Les circuits de refroidissement industriels, qu'ils soient ouverts, semi-ouverts ou fermés, sont généralement alimentés en eau naturelle, de la qualité disponible sur place (Eau de rivière, eau de forage, eau de mer ...etc.). Les eaux d'appoint, toujours minéralisées, et parfois polluées biologiquement (par nature ou par apport extérieur) conduisent souvent à trois types de problèmes :

- L'entartrage ;
- La corrosion ;
- Les proliférations biologiques. [4]

#### I.4. Caractéristiques principales d'un circuit de refroidissement

Tout circuit se caractérise par un certain nombre de paramètres qui est indispensable de connaître avant de choisir le procédé de traitement ou de conditionnement qui doit être appliqué à l'eau. [3]

Ces paramètres sont les suivantes :

- **Volume de circuit : V (m<sup>3</sup>)**

C'est la quantité d'eau totale contenue dans le circuit (bassins tuyauteries, échangeurs, etc.)

- **Débit de circulation : Q (m<sup>3</sup>/h)**

- **Ecart de température**

C'est la différence entre les températures de l'eau à l'entrée et à la sortie de la tour de réfrigération, déterminée par la formule suivante :

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (1.1)$$

- **Puissance du réfrigèrent : W (Kcal /h)** Elle s'exprime par le produit :

$$W = 1000 \times Q \times \Delta t \quad (1.2)$$

- **Température max : (°C)**

C'est la température de film d'eau (température de peau) au contact de la paroi la plus chaude du circuit.

- **Débit d'évaporation : E (m<sup>3</sup> / h)**

C'est le débit d'eau évaporé à la tour pour refroidir l'eau du circuit ; ce débit est constitué par l'eau pure qui n'entraîne aucun sel dissous.

Il est estimé par la formule approchée :

$$E = \frac{Q}{560} \Delta t \quad (1.3)$$

- **Débit d'entraînement vésiculaire : Ev (m<sup>3</sup>/ h)**

C'est le débit d'eau entraînée dans l'atmosphère sous forme de Gouttelettes finement divisées. Cette dernière, contrairement à l'eau évaporée, possède la même composition chimique que l'eau du circuit et est de ce fait, prise en compte dans le calcul des purges. Ce débit varie en fonction de la conception des tours de refroidissement. Les constructeurs s'attachent à réduire de plus en plus les pertes d'eau par entraînement vésiculaire ; en

moyenne on utilise la relation : 
$$E_v = \frac{Q}{1000} \quad (1.4)$$

Avec des valeurs pouvant atteindre 0.001% de Q

- **Débit du purge : P ( m<sup>3</sup>/ h )**

$$\mathbf{P = D - E_v} \quad (1.5)$$

L'évaporation entraîne une augmentation de la concentration des sels dissous dans l'eau en circulation. Pour éviter que cette concentration devienne trop importante, risquant ainsi de provoquer des dépôts divers, on doit extraire et rejeter à l'égout une partie de l'eau en circulation.

- **Déconcentration totale : D (m<sup>3</sup> / h)**

C'est la somme des débits dus à l'entraînement vésiculaire  $E_v$ , à la purge P y compris les différentes pertes en eau qui peuvent exister dans un circuit.

$$\mathbf{D = E_v + P} \quad (1.6)$$

- **Debit d'appoint : A (m<sup>3</sup> / h)**

Il compense l'ensemble des pertes d'eau dans le circuit, à savoir l'évaporation plus déconcentration totale :

$$\mathbf{A = E + P} \quad (1.7)$$

- **Taux de concentration : C**

C'est le rapport des teneurs en sels dissous entre l'eau du circuit et l'eau d'appoint :

$$\mathbf{C = \frac{A}{D}} \quad (1.8)$$

Puisque  $A = E + D$

Donc 
$$\mathbf{D = \frac{E}{C - 1}} \quad (1.9)$$

### I.5. Phénomène de corrosion, entartrage et prolifération biologique

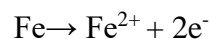
Puisque les circuits de refroidissement ont pour mission de refroidir des produits ou des unités de process par l'intermédiaire d'échangeurs de chaleur, l'on conçoit que le rendement d'échange soit un point important au niveau du rendement global des unités, donc de la production.

Ainsi, tout phénomène ou processus capable de diminuer ce rendement doit être maîtrisé : c'est le cas de l'entartrage et l'encrassement biologique. Ainsi également, toute action de l'eau susceptible de dégrader les matériaux constitutifs des installations, dont le coût économique pourrait être exorbitant particulièrement les échangeurs de chaleur, et la tuyauterie doit être également maîtrisée : c'est le cas de la corrosion chimique ou bactérienne.

[1]

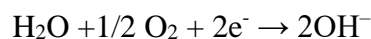
#### I.5.1. Corrosion

La corrosion métallique consiste en la disparition partielle du métal par réaction chimique avec le milieu environnant. Il existe diverses formes de corrosion, mais, dans le cas des circuits de réfrigération, la corrosion la plus critique est celle de la corrosion électrochimique du fer par l'eau. En effet le fer a tendance à s'ioniser à l'état de  $Fe^{2+}$  en présence d'eau, cette ionisation libérant deux électrons par atome de fer ionisé :



Les électrons ainsi libérés parcourent le métal et vont créer une charge négative à quelque distance des ions ferreux. En présence d'oxygène et d'eau, ils donnent naissance à des ions hydroxydes  $OH^{-}$ .

D'après la réaction :



La recombinaison des ions  $Fe^{2+}$  et de  $OH^{-}$  donne des hydroxydes de fer  $Fe(OH)_2$  et  $Fe(OH)_3$  qui se déposent au niveau de la première apparition des ions ferreux.

- **Protection contre les risques de corrosion**

Il est indispensable de prévoir une protection anticorrosion. Trois traitements sont fréquemment utilisés :

- Traitement alcalin et réducteur d'oxygène
- Traitement alcalin avec un mélange nitrites molybdate à forte concentration auquel on associe un dispersant
- Traitement avec un inhibiteur de corrosion organique en milieu alcalin.

## I.5.2. Entartrage

L'**entartrage** est un dépôt qui se forme sur les surfaces d'échanges. En fonction des ions présents dans l'eau d'appoint (calcium, magnésium, sulfate, bicarbonate), de ceux pouvant être ajoutés par les traitements (phosphate), apportés par le procédé (oxalate, fluorure, baryum) ou bien issus de la corrosion (fer), nous observons des dépôts de carbonate de calcium, sulfate de calcium, sulfate de magnésium, phosphate tricalcique, phosphate de fer, hydroxyde ferrique, oxalate de calcium, fluorure de calcium ou sulfate de baryum (tableau I.1). Les solubilités de ces sels sont très faibles et varient souvent en fonction du pH et de la température en fonction de la loi d'action de masse et des équilibres des différentes espèces. [5]

**Tableau 1.1 : Solubilité de quelques sels peu solubles .**

Sel	Solubilité à 20 °C (g/100 g d'eau)	Industrie ou technique concernée
Carbonate de calcium	0,000617	Tout circuit de refroidissement
Fluorure de calcium	0,00858	Sidérurgie
Oxalate de calcium	0,00067	Papeterie
Phosphate de calcium	0,002	Tout circuit de refroidissement
Sulfate de calcium, 2H <sub>2</sub> O	0,255	Régulation avec acide sulfurique. Désalinisation de l'eau de mer
Sulfate de baryum	0,000245	Forage pétrolier
Carbonate de magnésium	0,039	Désalinisation de l'eau de mer

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

- Procédé soustractifs : élimination d'un ou des ions formateurs de tartres par des résines échangeuses ou par la décarbonatation à le chaud ;

- 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 (solubilisation par acidification, ou par agents chélatants). [2]

### **I.5.3.Prolifération biologique**

Les conditions qui règnent dans les systèmes de refroidissement sont le plus souvent propices au développement de microorganismes, pH assez voisin de la neutralité, température tropicale, abondance des sels minéraux et de composés organiques servant de nutriments et lumière pouvant couvrir les besoins pour la photosynthèse dans les tours. Les microorganismes rencontrés dans les circuits de refroidissement d'eau appartiennent à trois grands groupes :

- Bactéries : dont les principales sont du type 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 ;
- Biofilm.

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. [2]

Tableau 1.2 : Procédés de protection des circuits fermés

<i>Désordre</i>	<i>Protection</i>
Salissures	Filtration dérivée
Développement biologique	Dispersants
Entartrage	Biocides (chocs)
Corrosion	Adoucissement de l'appoint
	Déminéralisation
	<b>Conditionnement inhibiteur de Corrosion forte teneur :</b>
	-Chromâtes
	-Nitrites
	-Molybdates
	-Organiques + sel tampon éventuel
	<b>Ou conditionnement réducteur d'oxygène</b>
	-Sulfite
	-Hydrazine
	-Organique
	+ relèvement du pH :
	-Amine
	- Phosphate

### I.6. Critère de qualité des eaux de refroidissement

L'eau utilisée comme fluide de refroidissement occasionne souvent des problèmes considérables de corrosion dans les circuits de refroidissement. Les exigences en matière de qualité requises pour l'eau de refroidissement sont souvent de type contradictoire et en conséquence, différentes les unes des autres. Pour qu'une eau soit utilisée en circuit de refroidissement, elle doit remplir les conditions représentées dans le tableau I.3.

**Tableau I.3.** Valeurs limites pour les caractéristiques de l'eau de circulation de la tour refroidissement conformément à la norme VDI 3803.

Paramètre	Valeur limite
Aspect	si possible, incolore, clair et sans dépôt
Valeur pH	7 à 8,5
Conductivité	< 3000 $\mu\text{S}/\text{cm} = 300 \text{ mS}/\text{m}$
Dureté totale	< 60 ° dH après adoucissement : < 20° dH
Dureté carbonatée	< 4 ° dH (<0,7 mol/m <sup>3</sup> ) après stabilisation de la dureté : < 20° dH
Salinité totale	< 1800 mg/l
Gaz carboniques agressifs	0 mg/l
Calcium	> 20 mg/l
Fer	< 0,1 mg/l
Chlorure	< 250 mg/l
Sulfate	< 600 mg/l
Nombre des germes	<10.000 UFC/ml
Légionelles	<100 UFC/100 ml
K <sub>s4,3</sub>	< 1,4 après stabilisation de la dureté : < 7

- Si la dureté de l'eau d'appoint est trop élevée, cette eau est soit assouplie ou bien conditionnée de manière adéquate en y ajoutant des produits chimiques afin d'éviter la formation de dépôts. L'eau pure soutirée au circuit par l'évaporation entraîne obligatoirement un épaissement de la concentration, lequel est encore plus augmenté par l'apport supplémentaire de sels par l'eau d'appoint. Afin d'éviter des sédiments, des encrassements et des problèmes de corrosion, la salinité doit être maintenue à une valeur figurant entre des valeurs limites définies ; ceci est habituellement réalisé par le biais du dessalement de l'eau concentrée de circulation et de l'alimentation en eau salubre. Les valeurs limites citées au préalable doivent être respectées dans l'eau de circulation.
- Si l'eau d'appoint utilisée est partiellement / entièrement dessalée, il faut éventuellement prévoir l'application d'un anticorrosif adapté. Indépendamment de la qualité de l'eau d'appoint, l'épaissement ne doit pas dépasser l'indice d'épaissement 8-10.

### I.7. Quelques importants paramètres pour la qualité de l'eau de refroidissement

#### •Chlorures

Les ions chlorure ont une influence considérable sur le comportement corrosif de l'eau. Vu qu'ils ne peuvent pas être éliminés par de simples méthodes de précipitation, leur concentration est maintenue à une valeur d'env. 250 mg/l par débouillage. Les ions chlorures ont des effets fortement corrosifs sur de nombreux métaux, même sur l'acier inoxydable, et ils favorisent la formation de piqûres de rouille. Plus la température est élevée et plus l'effet corrosif augmente.

#### •Sulfates

Même si leur effet n'est pas aussi nocif que celui des ions chlorure, les sulfates favorisent, à même titre que les ions chlorure, la corrosion sur des matériaux métalliques ; pour cette raison, il est recommandé de ne pas dépasser une valeur de 400 mg/l  $\text{SO}_4$ .

#### • Dureté carbonatée

Les carbonates et bicarbonates de calcium et de magnésium constituent la dureté temporaire, également appelée dureté carbonatée. La modification de l'équilibre calcaire/acide carbonique (augmentation de la valeur pH, réchauffement avec en conséquence une augmentation de la décharge de gaz carbonique) entraîne la formation de carbonates difficilement solubles (tartre).

#### •Dureté totale

La dureté totale désigne tous les sels de calcium et de magnésium contenus dans l'eau, donc non seulement les carbonates, mais également les sulfates et les ions chlorure etc.

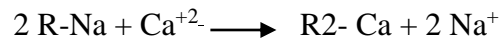
#### •Salinité totale

La somme de toutes les substances dissoutes dans l'eau constitue la salinité totale. Elle peut être déterminée par le biais d'une analyse complexe des composés présents dans l'eau.

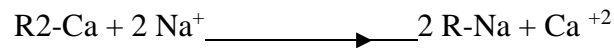
### I.8. Les principaux procédés de traitement de l'eau au point d'utilisation

#### I.8.1. Adoucissement

Procédé de traitement destiné à éliminer la dureté de l'eau par échange d'ions. L'eau dure passe sur un lit de résine cationique, préalablement chargée de sodium (Na), qui échange les ions calcium ( $\text{Ca}^{+2}$ ) et magnésium ( $\text{Mg}^{+2}$ ), responsables de la dureté de l'eau, contre des ions sodium ( $\text{Na}^+$ ) : [6]



Lorsque la résine est saturée d'ions calcium et magnésium (substitués aux ions sodium) la régénération de celle-ci se déclenche et se déroule automatiquement selon un processus d'échange ionique :



La régénération de la résine saturée s'effectue avec du chlorure de sodium (NaCl) équivalent au sel de table mais présenté sous forme de pastilles de 15 sur 25 mm.

Les ions sodium se fixent à nouveau sur la résine tandis que les ions calcium et magnésium sont évacués à l'égout sous forme de chlorure de calcium et de magnésium.

Le cycle se reproduit périodiquement en fonction d'intervalles de durées pré-établies ou du volume d'eau que l'adoucisseur peut traiter. Un mitigeur permet d'ajuster la dureté de l'eau à la valeur désirée au point d'utilisation.

### I.8.2. Déminéralisation

Procédé de traitement destiné à éliminer tous les sels dissous. La déminéralisation de l'eau peut être obtenue principalement par trois techniques :

- Par passage sur résines échangeuses d'ions (cationique et anionique), Ce procédé est limité à des eaux relativement faible salinité, jusqu'à 2g par litre environ, et présente l'inconvénient d'utiliser des produits chimiques corrosifs: acide et soude, par contre il peut produire des eaux très pures.
- Par osmose inverse, procédé applicable sur de grandes variétés de salinité (jusqu'à l'eau de mer), et dans une très large gamme de débit, de quelques litres par heure à plusieurs centaines de m<sup>3</sup> / h
- Par distillation, réservée soit à des applications de laboratoires, soit industrielle à partir d'eau de mer dans des bouilleurs évaporateurs sous vide en cascades.

### I.8.3. Osmose Inverse

Procédé de séparation par membrane semi - perméable. Ces membranes ne sont perméables qu'aux liquides et non aux corps dissous (sels minéraux, colloïdes) ou aux matières en suspension (bactéries, virus, ect..). Une pression (de 3 à 100 bars selon la salinité de l'eau à traiter) est appliquée à l'eau qui, au contact de la membrane semi- perméable, se sépare en deux courants :

- Le perméat (eau épurée) qui passe à travers la membrane,
- Le concentrât, qui s'écoule à l'égout en entraînant l'ensemble des sels et matières retenues.

#### **I.8.4. Désinfection par ultraviolets**

Procédé de désinfection par rayonnement émis par des lampes à vapeur de mercure avec une longueur d'onde de 256 nanomètres (UVC). La désinfection par ultraviolet n'a pas d'effet rémanent, c'est-à-dire que son effet désinfectant ne persiste pas. L'eau ainsi purifiée n'a aucune action purifiante sur son environnement et n'est pas protégée contre une pollution ultérieure.

Cependant, le principal avantage de ce procédé est de n'apporter aucun additif à l'eau traitée; il est donc particulièrement adapté à la désinfection des eaux ultra pures. [7]

#### **I.8.5. Désinfection par produits chimiques**

Procédé de traitement par dosage, dans l'eau, de produit désinfectant destiné à détruire (effet biocide) ou à stopper la croissance (effet biostatique) des micro-organismes tels que les bactéries, les algues, les virus, les levures et moisissures.

Le principal avantage du procédé est la rémanence du traitement, c'est-à-dire que l'eau ainsi traitée garde dans le temps des propriétés désinfectantes et permet donc, dans une certaine mesure, d'absorber une contamination ultérieure et de désinfecter les matériaux avec lesquels elle est en contact.

Les produits utilisés sont classés en deux grandes familles :

##### **A. Les produits oxydants**

- Le chlore, disponible sous de multiples formes (pur en gaz liquéfié, en eau de Javel, en poudre, en pastille, en galet ou encore produit in-situ par électrolyse d'eau salée).
- Le brome, également disponible sous plusieurs présentations.
- L'ozone, à l'état gazeux, toujours produit in-situ à partir de l'oxygène de l'air.

Il faut encore citer, pour certaines applications, le permanganate de potassium, l'iode et l'eau oxygénée. Les produits oxydants sont principalement utilisés pour l'eau potable et l'eau des piscines.

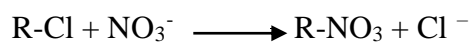
##### **B. Les produits non oxydants**

Ce sont la plupart produits de la chimie organique qui agissent en bloquant les mécanismes de reproduction des micro-organismes ou en détruisant leurs membranes. Ils ont

pour avantage de conserver leur efficacité plus longtemps que les produits oxydants et d'être moins corrosifs. Les produits non oxydants sont principalement utilisés dans des applications industrielles.

### I.8.6. Dénitratation sur résine

Procédé de traitement destiné à éliminer les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) contenus dans l'eau par échange d'ions. L'eau à traiter passe sur un lit de résine anionique sélective des nitrates. Ces derniers sont fixés en échange d'ions chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) :

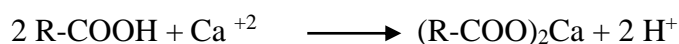


La régénération de la résine saturée se fait, comme pour l'adoucissement, avec une solution de chlorure de sodium (saumure), ce qui permet souvent d'associer les deux résines dans une même enceinte et d'utiliser simultanément l'anion chlorure et le cation sodium de la saumure. Des précautions doivent être prises pour bien dimensionner l'appareil en fonction de l'analyse de l'eau car, la sélectivité de la résine n'étant pas absolue, elle retient également l'anion sulfate. Il y a risque de précipitation du sulfate de calcium durant la régénération si un certain nombre de précautions nécessaires n'a pas été respecté, en particulier la proportion des deux types de résine en fonction de la qualité de l'eau à traiter (analyse du TH, des sulfates et des nitrates) et le choix du moment de la régénération.

### I.8.7. Décarbonatation sur résine

Procédé de traitement qui revient, en fait aussi, à un adoucissement partielle de l'eau par fixation des ions calcium liés aux bicarbonates (dureté temporaire).

L'eau à traiter passe sur un lit de résine cationique faible (carboxylique) qui échange les ions calcium ( $\text{Ca}^{+2}$ ) contre des ions d'hydrogène ( $\text{H}^+$ ) :



Ces ions hydrogène réagissent avec les ions bicarbonates pour former de l'eau et du gaz carbonique éliminé ensuite sur une tour de dégazage :

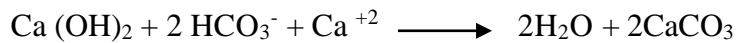


Le TH chute donc à la valeur (TH -TAC) et le TAC chute à 0. La régénération de la

résine saturée s'effectue avec de l'acide chlorhydrique ou sulfurique. [8]

### I.8.8. Décarbonatation à la chaux

La chaux ou hydroxyde de calcium  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  provoque la précipitation des bicarbonates  $\text{HCO}_3^-$ , responsable du TAC de l'eau, en carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ).



Le gaz carbonique équilibrant est également neutralisé, ce qui entraîne la réduction du TH de l'eau jusqu'à pratiquement la valeur du TH permanent (TH - TAC), le TAC chute à une valeur proche de 0 (1 à 3°F en pratique) et le TA se stabilise entre 0.5 et 1.5°F si la chaux est correctement dosée. Cette opération est réalisée dans une structure en forme d'entonnoir d'où l'eau épurée déborde par surverse et du fond de laquelle sont extraits les boues de carbonate de calcium. La chaux est ajoutée, sous forme de lait de chaux, par pompe doseuse, proportionnellement au débit et au TAC de l'eau à traiter.

### I.9. Conditionnement de l'eau par adjonction de produits chimiques

Le but du conditionnement chimique est de lutter, par adjonction de produits judicieusement choisis, contre la corrosion ou l'entartrage ou encore contre les développements biologiques tels que les algues, bactéries, levures et moisissures, dans les circuits d'eau industrielle ou d'eau destinée à la consommation humaine. Les produits utilisés sont, dans la plupart des cas, des formulations liquides associant plusieurs composants qui agissent en synergie ou apportent plusieurs fonctions à la formulation. Parmi ces composants, on peut citer :

- Les silicates, les phosphates et poly phosphates, utilisés principalement dans les formulations pour les eaux chaudes sanitaires (E.C.S).
- Les sels de zinc, aux propriétés anticorrosives, utilisés aussi dans les formulations E.C.S. mais de plus en plus rarement.
- Les polyacrylates et les phosphonates qui sont de puissants anti-tartres et dispersants utilisés pour le traitement des circuits d'eau industrielle (chaudière, circuit de refroidissement).

### I.10. Filtre à sable

Filtration des eaux sur un matériau (sable ou sable plus anthracite dans le cas des filtres bicouches) de différentes granulométries. On distingue des filtres lents ou filtres ouverts et

des filtres rapides ou filtres fermés.

- Les filtres lents sont utilisés pour des eaux moyennement et fortement chargées en matières solides en suspension, l'eau dans ce cas percole par gravité à travers le lit de sable disposé dans des grands bassins ouverts à l'air libre.
- Les filtres rapides, dont la vitesse de filtration est comprise entre 30 et 70 m/h, sont utilisés pour des eaux faiblement chargées de matières solides en suspension, l'eau dans ce cas est envoyé sous pression à travers le lit de sable disposé dans des réservoirs clos réalisés par chaudronnerie ou en résine armée de fibres de verre. Le lavage de ces filtres est effectué par inversion du courant d'eau avec éventuellement injection d'air comprimé et les impuretés sont rejetées à l'égout avec l'eau de lavage.

### **I.11.Filtre à cartouche**

Ce type de filtre est constitué d'une enveloppe sous pression contenant une ou plusieurs cartouches filtrantes destinées à retenir les impuretés. Les finesses de filtration sont variables, le plus souvent de 5 à 80 microns, selon la texture du matériau qui constitue la cartouche (papier plissé, feutre, fils bobinés). Les cartouches doivent être remplacées régulièrement, en fonction de leur état d'encrassement qui fait augmenter la perte de charge.

### **I.12.Filtre à charbon actif**

Le charbon actif a le pouvoir de retenir par adsorption (c'est-à-dire en concentrant à sa surface les substances dissoutes) les molécules organiques qui donnent à l'eau des odeurs et des saveurs désagréables. Utilisé également comme catalyseur, il permet d'éliminer le chlore résiduel et les chloramines. Grâce à ces propriétés, les filtres à charbon sont utilisés pour désodoriser l'eau et supprimer les traces et les goûts de chlore. Le charbon actif se présente sous forme de poudre ou de grains :

- Sous forme de poudre, il est utilisé dans des cartouches (filtres à cartouches).
- Sous forme de grains, il est utilisé dans des filtres classiques lavables (type filtre à sable).

Lorsque la limite de capacité d'adsorption est atteinte, la cartouche ou la masse de charbon actif doit être remplacée, sauf dans le cas de très grosses installations industrielles où une régénération à la vapeur peut être économiquement envisageable.

**I.13.Conclusion**

Différents problèmes sont rencontrés en présence des eaux minéralisées ou polluées biologiquement (par nature ou par apport extérieur) conduisant à l'entartrage, la corrosion ou les proliférations organiques. Plusieurs traitements peuvent être solution de ses problèmes : traitement chimique, physique ou biologique.

**Références bibliographiques**

- [1] Duvivier, L. (1983) Concentration et conditionnement des eaux de surface intérieures dans les circuits de refroidissement atmosphériques des grandes centrales thermiques » 36<sup>èmes</sup> Journées internationales du CEBEDEAU, 205-234, Liège. Belgique.
- [2] Duvivier, L. (2006). *Traitement des eaux de refroidissement*, Edition TEC & DOC, Paris.
- [3] Berné, F. ; Cordonnier, J. (1991) *Traitement des eaux*. Epuration des eaux résiduaires de raffinage, conditionnement des eaux de réfrigération , Edition thecnip. Paris. France
- [4] Bekhadouma, A. ; Benali, A. (2014) Amélioration de la qualité d'eau de refroidissement au sein de CP1/Z. *Mémoire de master*, Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf, Oran. Algérie. .
- [5] Daniel, B.L.(2019), *Traitement des eaux de refroidissement*, Techniques de l'ingénieur .Editions T.I.
- [6] [www.Traitement des eaux de refroidissement.](#)
- [7] Germain, L. ; Colas, L. ; Rouquet , J.(1976). *Le traitement des eaux*. Paris. France
- [8] La pratique de l'eau (1994).*Traitements de l'eau aux points d'utilisation*, comportement de l'eau dans les installations, origine des désordres et solutions. Paris. France

## CHAPITRE II

---

# SYSTEME DE REFROIDISSEMENT A SCIMAT

---

## Introduction

La société des ciments d'AIN-TOUTA (SCIMAT) est une société spécialisée dans la fabrication, le conditionnement et la commercialisation des ciments et des agrégats. Elle fait partie de groupe industriel du ciment de l'Algérie. La réalisation de cette dernière a été confiée au constructeur danois F.L.Smith (Danemark). Elle a été mise en service : 7 septembre 1986.

### II.1. Généralité sur la cimenterie de SCIMAT

La société des ciments de Ain -Touta se compose d'une direction générale à Batna et d'une unité de production à la commune de Tilatou, Daira de Seggana, à 50 Km à l'ouest de Batna. Elle couvre une superficie de 30 ha.

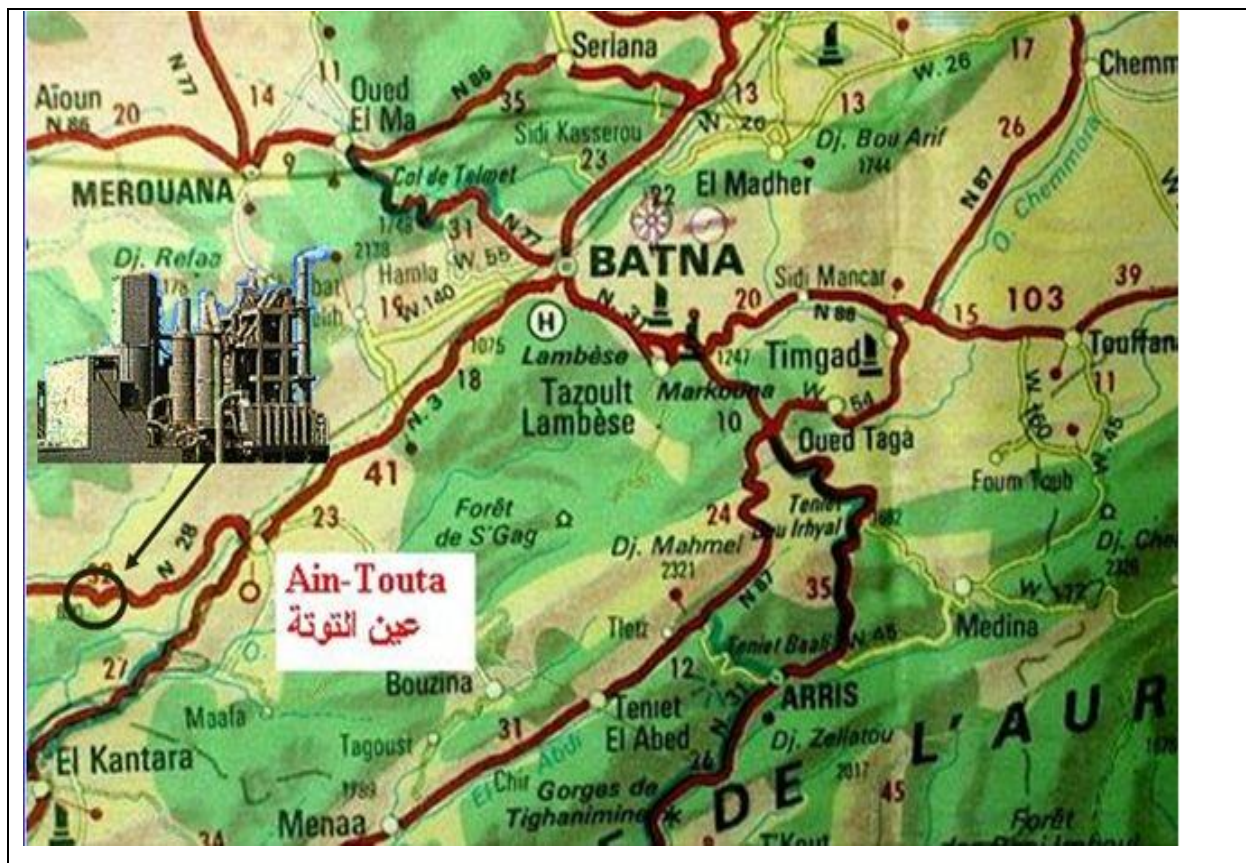


Figure II.1 : Situation géographique de la cimenterie.

- **Fiche technique de l'unité**

**Nom de l'unité :** Cimenterie de AIN TOUTA.

**Nom de produit :** ciment CPJ45.

**Matières premières utilisées :** Calcaire – Argile – Gypse - Minerai de fer – pouzzolane et Calcaire pur.

**Date de mise en service :** 28/09/1986.

**Nom du constructeur :** F.L.Smith Danemark.

**Capacité :** 1000000 tonnes ciment/an.

**Procédé :** voie sèche.

**Concassage :** concasseur à marteaux d'une capacité de **1000t/h**.

**Broyage :** 2 broyeurs à boulets d'une capacité de **140t/h**.

**Préchauffage :** préchauffeur à suspension de farine dans les gaz chauds (à 4 étages de cyclones).

**Cuisson :** deux fours rotatifs longs d'une capacité unitaire de **1500t/h**.

**Combustion :** gaz-naturel.

**Refroidissement :** 9 refroidisseurs à ballonnets.

**Broyage ciment :** 2 broyeurs à boulets d'une capacité unitaire de **100t/h**.

## II.2.Type de ciment

### II.2.1. Définition d'un ciment

Le ciment est un liant hydraulique. C'est un matériau anhydre finement broyé qui, par simple mélange avec l'eau, développe des hydrates dont l'imbrication rigidifie le matériau granulaire non cohésif de départ en matériau cohésif présentant des propriétés mécaniques élevées. D'un point de vue minéralogique, le ciment peut être définie comme un mélange d'oxyde basique, CaO noté C, et d'oxydes acides ou amphotères comme SiO<sub>2</sub>, noté S, AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, noté A, ou Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, noté F, en notation cimentaire. [1]

Les ciments peuvent être classés en fonction de leur composition et de leur résistance normale.

**II.3. Classification en fonction de leur résistance à la compression**

Il existe trois classes principales et trois sous classes noté (R) associées au trois premières pour désigner des ciments dont les résistances au jeune âge sont élevées. Ces classes sont notées, classe 32.5, classe 42.5, classe 52.5. Elles doivent respecter les spécifications et valeurs garanties désignés dans le tableau ci-après.

**Tableau II. 1. Classe de ciments normalisés en fonction de leurs résistances à la compression.**

Classe des ciments	Résistance à la compression (en MPa) selon la norme		
	A 2 jours	A 28 jours	
		Minimum	Maximum
32.5	≤16	≤32.5	52.5
32.5 R	≤13.5	≤32.5	
42.5	≤12.5	≤42.5	62.5
42.5 R	≤20	≤42.5	
52.5	≤20	≤52.5	
52.5 R	≤30	≤52.5	

**II.4. Classification des ciments en fonction de leur composition**

Les ciments constitués de clinker et des constituants secondaires sont classés en fonction de leur composition, en cinq types principaux par les normes NF P15-301 et ENV 197-1. Ils sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans leur notation européenne (la notation française est indiquée entre parenthèse) :

- CEM I: Ciment portland (CPA - dans la notation française),
- CEM II: Ciment portland composé (CPJ),
- EM III: Ciment de haut fourneau (CHF),
- CEM IV: Ciment pouzzolanique (CPZ),
- CEM V: Ciment au laitier et aux cendres (CLC).

Les ciments produits et commercialisés en Algérie sont essentiellement constitués de CPJ 32,5 et 42,5 types les plus demandés et CRS (Ciment résistant aux sulfates) largement utilisé dans les régions du sud.

Tableau II.2. Désignation des différents types du ciment en fonction de leur composition.

	Ciment portland	Ciment portland composé		Ciment de haut Fourneau			Ciment pouzzolaniques		Ciment au laitier et aux cendres	
	CPA CEM I	CPJ CEM II/A	CPJ CEM II/B	CHF CEM III/A	CHF CEM III/B	CHF CEM III/C	CPZ CEM IV/A	CPZC EM IV/B	CLC CEM V/A	CLC CEM V/A
<b>Clinker (k)</b>	≥95%	≥80% ≤94%	≥65 % ≤79%	≥35% ≤64%	≥20 % ≤34 %	≥5% ≤19 %	≥65% ≤90%	≥45% ≤64%	≥40% ≤64%	≥20% ≤39%
<b>Laitier (S)</b>	*	6%≤ Total ≥20% (fumé e de de silice ≤10% )	21%≤ Total ≤20% (fumé e de de Silice ≤10% )	≥36% ≤65%	≥66 % ≤80 %	≥81 % ≤95 %	*	*	≥18% ≤30%	≥31% ≤50%
<b>Pouzzolane s (Z)</b>	*			*	*	*	10%≤ Total	36%≤ Total	18%≤ Total	31%≤ Total
<b>Cendres siliceuses (V)</b>	*			*	*	*	≤35% fumée ≤10%	≤55% fumée ≤10%	≤30% *	≤50% *
<b>Fumée de silice (D)</b>	*			*	*	*			*	*
<b>Cendres calciques (W)</b>	*			*	*	*	*	*	*	*
<b>Schiste (T)</b>	*			*	*	*	*	*	*	*

## II.5. Autres types de ciments

### ✓ Ciments résistants aux sulfates (C.R.S)

Dans ce type de ciment, la proportion des composants principales du ciment sont telle que : la teneur en C3S ne dépasse pas 50%, celle du C3A, 5% et la somme de C3A et C4AF doit être supérieure à 22%.

### ✓ Ciments blancs

Ces ciments sont obtenus à partir des matières premières contenant le moins possible d'oxydes colorants (oxyde de fer, de manganèse, de chrome, de titane et autre trace). Dans ce type ciment, plus fragile que le gris car il doit rester immaculé, un refroidisseur rotatif est inséré entre le four rotatif et le refroidisseur à grilles. Il s'agit d'un cylindre légèrement incliné qui tourne sur lui-même et à l'intérieur duquel de l'eau est pulvérisée à l'aide de multiples buses.

### ✓ Ciments colorés

Ces ciments sont obtenus par addition au clinker blanc des colorants minéraux résistants à la lumière et aux alcalis au cours du broyage. On peut citer le bleu outre de mer, l'oxyde de chrome, le noir de fumée, etc.

### ✓ Ciments alumineux

Le ciment alumineux est un liant hydraulique prompt obtenu par la cuisson d'un mélange de bauxite et chaux. Ces ciments sont fabriqués sans ajouts ou parfois en quantité très limitées, 2% au maximum pour améliorer certaines de leurs propriétés. Ils sont utilisés pour les travaux nécessitant l'obtention, dans un délai très court, des résistances mécaniques élevés (poutre et linteaux pour bâtiment, sols industriels, etc.).

### ✓ Ciments à maçonner

Ce type de ciment contient en proportions moindres les mêmes éléments actifs que le ciment portland artificiel (CPA). Ces propriétés et son comportement dans les milieux courants sont analogues à ce dernier, mais ces résistances sont moins élevées que celle du CPA normalisé.

## II.6. Utilisation des catégories principales du ciment

### – Le ciment portland CEM I (CPA)

Il est utilisé pour tous travaux en béton armé ou précontraint, coulés sur place ou en préfabriqués. Ils permettent un décoffrage et une mise en service rapide. Ce dernier représente 33% de la consommation totale du ciment.

**-Le ciment portland composé CEM II (CPJ)**

Son utilisation le plus fréquent est dans tous les travaux de maçonneries, le béton d'ouvrages courant en élévation, le dallage. Il représente 53% de la consommation totale du ciment.

**-Le ciment des hauts-fourneaux CEM III (CHF)**

Ils sont employés pour les ouvrages situés en milieux agressifs, travaux souterrains, ouvrage pour eau usée ou industrielle, travaux de mer (port, barrage etc.).

**-Le ciment pouzzolaniques CEM IV (CPZ)**

Utilisations similaires à CEM III.

**-Le ciment au laitier et aux cendres CEM V (CLC)**

Utilisations similaires à CEM III.

**II.7. Procédés de fabrication de ciment**

Il existe quatre procédés de fabrication de ciment comme c'est illustré dans la figure suivante :

1. Fabrication du ciment par voie humide (la plus ancienne).
2. Fabrication du ciment par voie semi humide (en partant de la voie humide).
3. Fabrication du ciment par voie sèche (la plus utilisée en Europe).
4. Fabrication du ciment par voie semi sèche (en partant de la voie sèche). Le choix du procédé à utiliser dépend largement de l'état des matières premières : sèches ou humides.

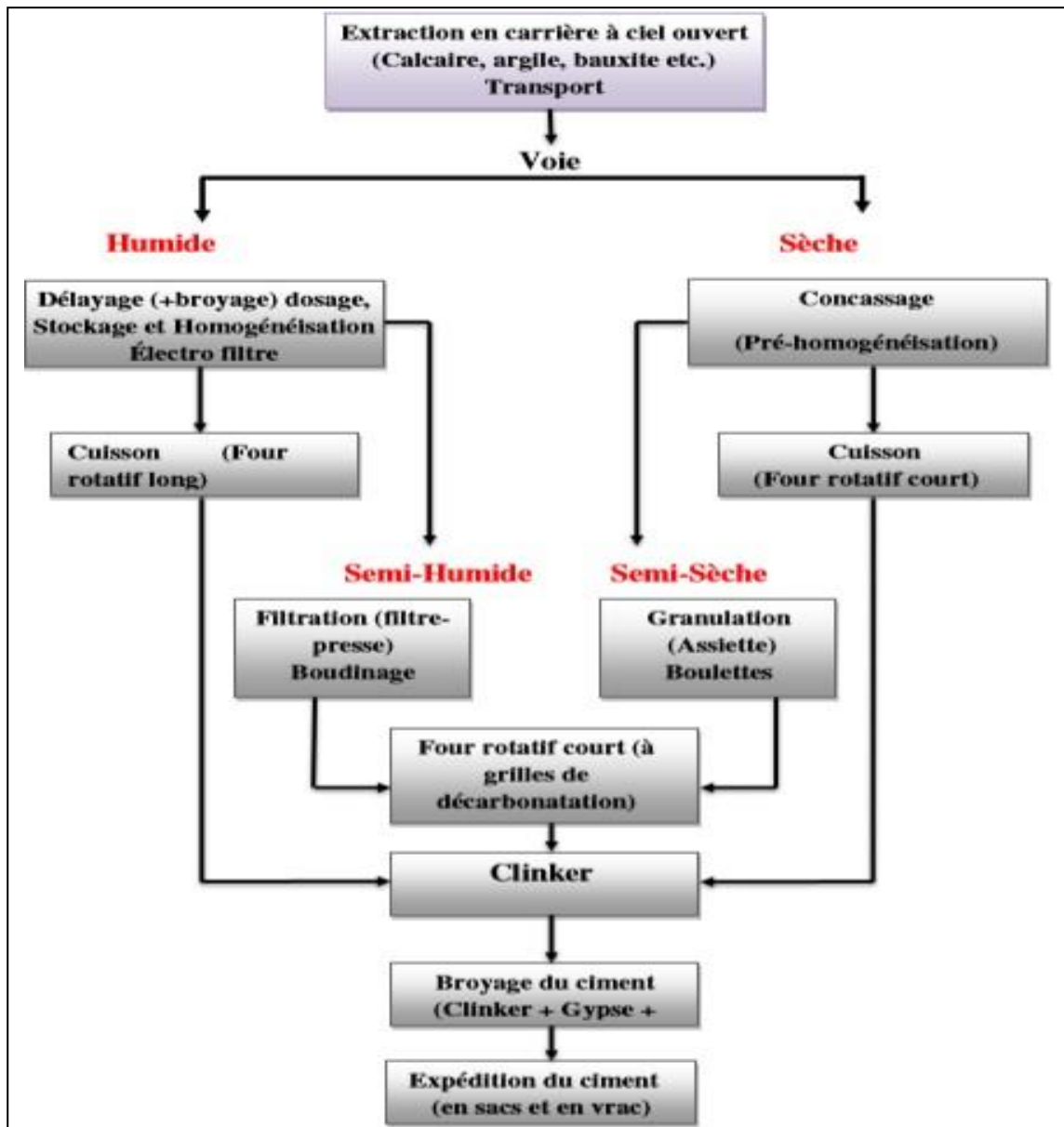


Figure II.2 : Les différentes voies de fabrication du ciment

### II.7.1.Fabrication par voie humide

Ce procédé est le plus ancien et le plus simple, mais aussi le plus gourmand en énergie nécessaire pour l'évaporation de l'excédent d'eau. Les matières premières (dont la teneur en humidité est souvent élevée) sont délayées juste après le concassage et broyées finement avec l'eau de façon à constituer une pâte assez liquide (30 à 40% d'eau) pouvant être pompée. La pâte est ensuite stockée dans de grands bassins ou cuves, ou elle est continuellement malaxée et homogénéisée, ce mélange est appelé Cru. Des analyses chimiques permettent de contrôler et corriger la composition de cette pâte avant la cuisson. La pâte est introduite directement dans le four tournant ou peut passer auparavant dans un sécheur.

### II.7.2.Fabrication par voie semi-humide

Dans ce procédé, la pâte fluide obtenue par la voie humide est débarrassée de son eau par des filtres presses (teneur en eau 18 à 20%) et ensuite extrudée sous forme de bâtonnets de 2 cm de diamètre introduits dans un pré chauffeur à grilles avant de l'introduire au four comme pour la voie semi sèche. La technologie du préchauffage à grille peut être plus connue sous le nom de four LEPOL inventée en 1928. Ou dans d'autres cas, les bâtonnets sont séchés et réduits en poudre (farine) et introduits dans la tour à cyclones [2].

### II.7.3.Fabrication par voie sèche

Dans le procédé par voie sèche, le mélange des matières premières est concassé dans un concasseur-sécheur où la matière rencontre les chauds provenant d'un générateur de gaz chauds à contre-courant cédant ainsi leur chaleur à la matière.

Cette matière est envoyée dans un broyeur chauffé par les gaz provenant du GGC, puis passe dans un séparateur chauffé où il y a séparation des grosses particules des fines. Les grosses particules reviennent dans le broyeur. Les fines constituant le produit fini qu'on appelle farine avec un taux d'humidité ne dépassant pas 0,5% sont envoyées dans des silos d'homogénéisation où elles seront homogénéisées avec de l'air. Cette matière homogène est envoyée dans un four à préchauffeur à cyclones.

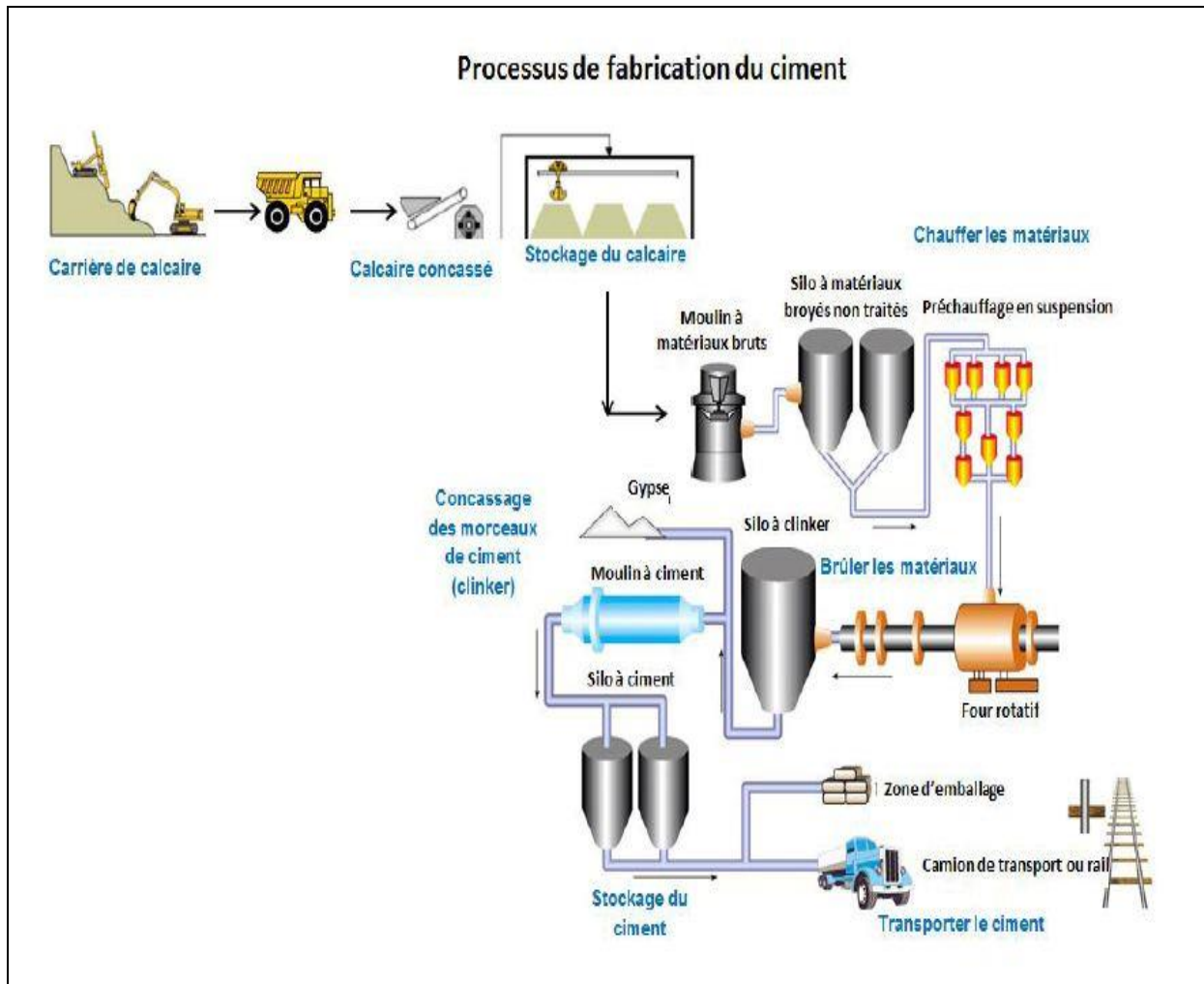
### II.7.4.Fabrication par voie semi-sèche

Dans ce procédé, la poudre (obtenue par voie sèche) est humidifiée et agglomérée sous forme de granulés qui sont introduits dans une installation de cuisson comprenant, une grille de décarbonatation et un four rotatif. La farine est granulée sur une assiette de granulation un disque incliné à 30% tourne à une vitesse contrôlée. Le poids des granules permet ceux-ci de ne pas être emportés par le flux d'air, ce qui se passerait si l'on se servait de farine [2].

## II.8. Comparaison des différentes voies de fabrication

Tableau II.3. Les différentes voies de fabrication

Processus	Avantages	Inconvénients Sec
<p><b>Sec</b> : four à préchauffeur</p> <p>0,5 à 1% d'humidité</p> <p>consommation calorifique 3000 à 4000 Kj/Kg de kk selon le type de préchauffeur</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- utilisation des fumées pure le séchage du cru</li> <li>- basse consommation calorifique four court</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- exige des équipements de mélange et d'homogénéisation plus sophistiqués</li> </ul>
<p><b>Semi-sec</b> : Granules avec 10 à 15% d'eau</p> <p>Consommation calorifique 3500 Kj/Kg De kk</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- four court</li> <li>- peu de poussière</li> <li>- bonne granulométrie du clinker basse consommation calorifique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- processus additionnel granulation</li> <li>- addition d'eau</li> <li>- consommation clore. Elevée</li> </ul>
<p><b>Humide</b> : Pâte avec 30 à 40% d'eau</p> <p>Consommation clore. 5000 à 6000 Kj/Kg de kk</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- homogénéisation facile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- four long.</li> <li>- forte consommation d'énergie pour l'évaporation de l'eau</li> <li>- consommation d'eau</li> <li>production de poussière de four</li> </ul>
<p><b>Semi humide</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- homogénéisation facile</li> <li>- four court</li> <li>- consommation clore. Réduite</li> <li>- peu de poussière bonne granulation du clinker</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- matériau doit avoir bonne aptitude à la filtration</li> <li>- consommât. énergie plus forte que voie sèche</li> <li>- processus additionnel filtrage, séchage gâteaux de pâte filtrée</li> </ul>



**Figure II.3 : Processus de fabrication de ciment**

La cimenterie possède une concession d'exploitation des carrières calcaire et argile. En ce qui concerne les autres matières premières et ajouts, les sources d'approvisionnement sont les suivantes

- **Le sable** : l'usine s'approvisionnait de la carrière de TEBESSA.
- **Le fer** : l'approvisionnement s'effectue à SOMIFER TEBESSA
- **Le gypse** provient de la carrière les LACS
- Le gaz naturel est acheminé par pipe à partir des stations de pré détente et détente de la Sonelgaz
- La sacherie provient du marché national
- Le boulet provient de l'étranger et de ALFET Tiaret
- Les produits réfractaires (briques et bétons) sont importés de l'étranger

## II.9. Extraction et la préparation des matières premières

### C. Carrière

Le gisement de calcaire est situé dans la zone du DJEBEL TILATOU, le long de la route RN 28 AIN-TOUTA – BARIKA à environs de 15Km l'ouest d'AIN-TOUTA et de 50Km de BATNA. Le gisement d'argile est situé en plaine au Nord immédiat de la route à 2Km du gisement de calcaire. (figure II.3)

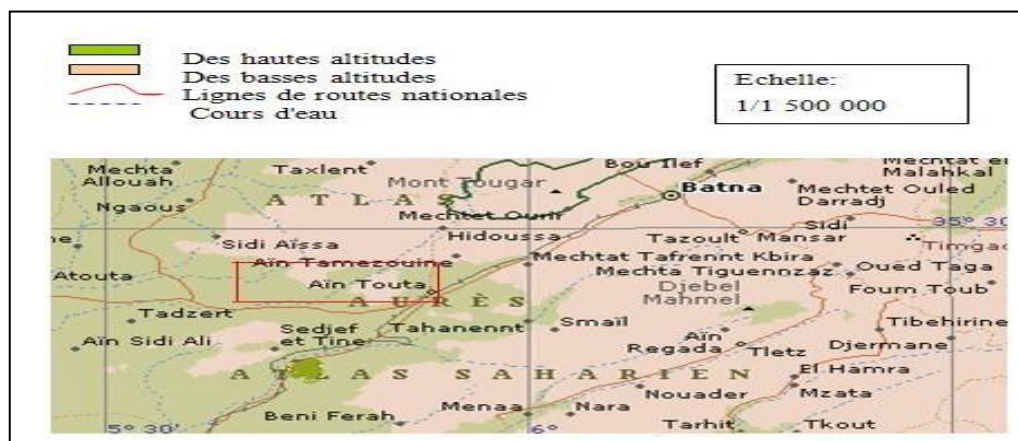


Figure II.4 : Situation géographique du gisement de AIN -TOUTA

#### ✓ Exploitation de carrière

La cimenterie dispose d'un gisement de calcaire et d'argile se trouvant à une distance de 2 Km de l'usine L'exploitation se fait à ciel ouvert et par gradins de 14 à 15 m de hauteur. L'extraction des matières premières (calcaire) s'effectue en trois étapes :

- ❖ **Foration** : cette opération se fait par un maillage de 2 X 2.
- ❖ **Abattage** : après foration, on procède à un bourrage des trous par l'explosif, puis la mise à feu s'effectue par un micro retardataire
- ❖ **L'extraction** des argiles s'effectuera par ripage au bulldozer .
- ❖ **Chargement** : Après l'abattage le calcaire et ripage d'argile, la matière est chargée et transportée vers le concasseur en utilisant les dumpers pour le transport du calcaire et les camions à benne pour le transport de l'argile. La cimenterie d'Ain-Touta dispose de deux concasseurs 120 et 160 o Concasseur à marteau 120 de capacité nominale 1000 t/h pour le mélange (calcaire et argile) et 500 t/h pour les ajouts ; Conasseur ajouts (le minerai de fer, le gypse et la pouzzolane) à marteau 160 de capacité nominale 100 t/h ;

## B. Concassage

Les matières première extraites des carrières peuvent atteindre des dimensions allant jusqu'à 2 m, elles doivent être réduites jusqu'à 1m, elles doivent être réduites jusqu'à 25mm-30 mm à l'aide d'un concasseur à marteau.

### ✓ Concasseur à marteaux type EV

Le concasseur à marteaux est le plus grand de la gamme des concasseurs F L s il est livrée comme un concasseur a un « étage d'un débit de 1300 t/h, mais il est capable de débiter encore plus s'il est utilisé comme concasseur primaire suivi d'un autre de concassage.

Le concasseur est équipé d'un cylindre absorbant les chocs, immédiatement après l'entrée, et un épais tapis de lourdes chaînes qui empêchent les morceaux de pierre de rebondir de l'entrée.

Tout comme les autres types, le concasseur EV est indiqué pour le concassage de matières dures, non abrasives et non colmatâtes, surtout le calcaire, mais il n'est pas aussi sensible à l'humidité et au colmatage de matières à l'alimentation.

Le concasseur EV travaille avec un seul ensemble de rotors. La grille d'entrée n'est pas nécessaire comme dans tous les autres concasseurs. La grille de sortie de ce concasseur est construite d'une seule pièce, amovible, constituée de barres de grille montées entre deux longerons, la grille peut être serrée contre le rotor pour compenser l'usure. [3]

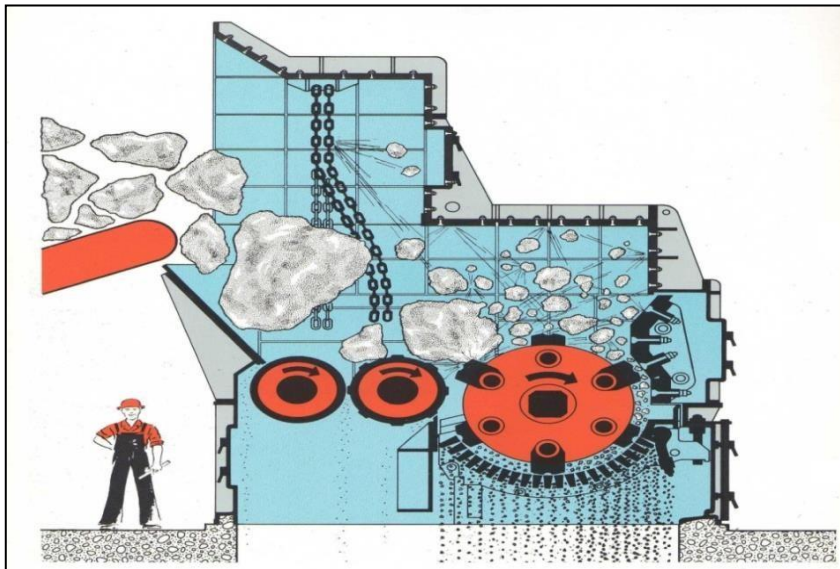


Figure II.5 : Schéma du concasseur à marteaux

**Tableau II.4 : Caractéristiques d'un concasseur à marteau de type EV.**

Paramètres	Les valeurs
Concasseur à marteau de type EV	
PUISSANCE DU MOTEUR	1700 KW
Débit moyen	1000 et 1300 t/h avec 6% d'humidité
Granulométrie maximale	5% supérieur à 25 mm
Vitesse du moteur	996 tour/min
Vitesse du marteau	267 tour/min
L'ouverture nominale au fond diagonale	1.5m
L'ouverture maximale	3000*3300 mm

Notons qu'il y a un autre concassage pour les ajouts (minerai de fer, pouzzolane) par un concasseur d'ajout. Les roches sont échantillonnées en continu pour déterminer la quantité des différents ajouts nécessaires (oxyde de fer, alumine et silice). Le mélange est ensuite réalisé dans un hall de préhomogénéisation.

### **C. Préhomogénéisation (Stocks de matière et homogénéisation)**

Pour que la production de la cimenterie puisse continuer sans interruption malgré l'arrêt d'un maillon de la chaîne, des stocks de secours de matières premières, des exigences sévères sont imposées quant à l'homogénéité des matières premières dont les modules doivent rester constants pour obtenir une qualité uniforme de clinker, le stockage est combiné avec un processus d'homogénéisation qui permet de mélanger une matière hétérogène dans un stock par l'alternance de la mise au stock et de la reprise.

L'homogénéité des matières est évaluée sur la base de son paramètre le plus important, dans le cas du calcaire, sa teneur en  $\text{CaCO}_3$ . A l'homogénéisation, les variations autour de la moyenne entre la teneur de la matière avant homogénéisation et celle après homogénéisation sont réduites. Cette réduction appelée efficacité d'homogénéisation, est exprimée statiquement comme le rapport de diffusion entre la matière avant homogénéisation et après homogénéisation.

On distingue les stocks hippodromes et les stocks polaires. Dans les premiers on travaille avec deux tas alignés ou parallèles, la matière est déversée dans l'un et reprise de l'autre.

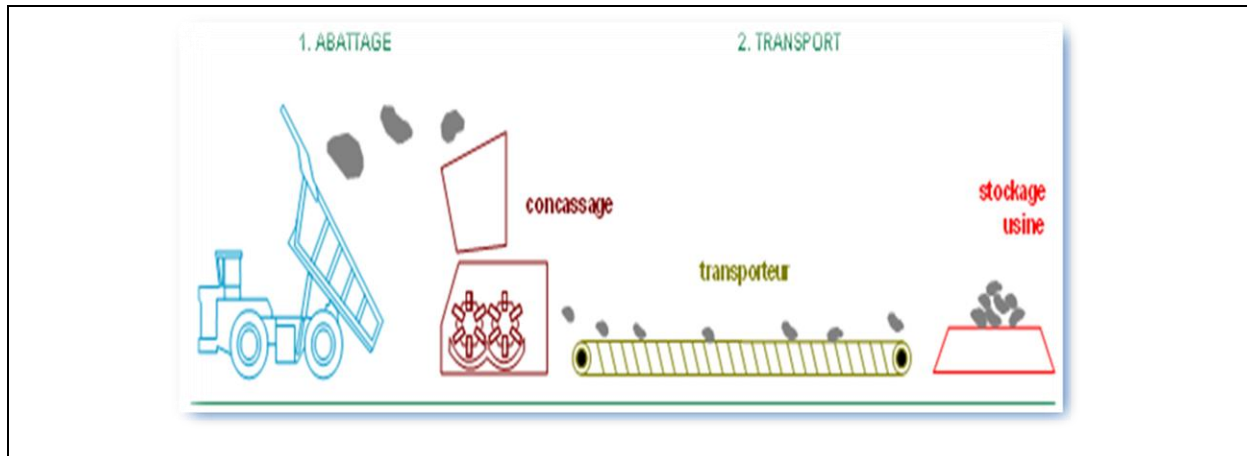


Figure II.6 : Abatage, concassage et stockage.

### II.9.Fabrication de ciment

La fabrication du ciment comprend trois étapes :

- Broyage de cru.
- La cuisson.
- Broyage du ciment.
- Refroidissement du ciment

## II.9.1. Broyage de cru



**Figure II. 7 : Broyeur à boulet**

La matière, après incorporation du sable et du minerai de fer est ensuite acheminée vers l'atelier de broyage cru (02 broyeurs) d'une capacité de 140 t/h par broyeur. Dans l'atelier du broyage cru (04) trémies d'alimentation des broyeurs sont prévus cette dernière sont alimentées par des transporteurs à partir des halls d'homogénéisation par l'intermédiaire d'un pont grateur pour le calcaire argile et un grateur portique pour le calcaire pur et les minerai de fer les trémies sont montées sur des paliers basculants et chaque trémie est équipée de 2 lignes d'extraction et de pesage à tablier métallique et chaque ligne alimente un broyeur à travers un transporteur à bandes .

Pour la séparation de la farine crue 2 séparateurs sont prévus pour deux chaînes productives.

- **Le séparateur**

Le séparateur comprend une chambre de séparation avec un plateau de diffusion rotatif et une descente conique pour recueillir le gros (la matière recyclée). L'alimentation du séparateur est guidée vers le bas sur le plateau de diffusion rotatif et dans un courant d'air circulant à l'intérieur produit par le plateau. Les grosses fractions Retournent aux broyeurs et les fines passent à travers des cyclones puis transportées par des aéroglisteurs et air-lifts vers les silos d'homogénéisation.

- **Homogénéisation de farine crue**

Lors du remplissage du silo, la matière est déposée en couches de composition variée. Il faut la mélanger durant l'extraction de manière à obtenir une matière homogène, Beaucoup de systèmes ont été développés pour l'homogénéisation de farine crue, Le système de silos pour la farine crue utilise 2 jeux de silos l'un au-dessus de l'autre, dont les supérieurs sont des silos de mélange et les inférieurs des silos de stockage.

- **L'air de départ du broyeur:** est dépoussiéré dans les cyclones et nettoyé définitivement dans le filtre de four.

La farine crue sortante est stockée dans deux silos homogénéisation d'une capacité de 2 x 8000 tonnes. La composition pondérale de cru (humide) est approximativement:

- $\text{CaCO}_3$  : 80%
- Argile : 17%
- Sable : 2%
- Fer : 1%

L'ensemble des matières est repris par grattage pour être acheminée dans des trémies de stock tampon, ces derniers sont munis de bandes doseuses.

### II.9.2.Cuisson

A la sortie du silo d'homogénéisation, la farine sera acheminée vers la tour de préchauffage à 04 étages de cyclones (capacité 3000 t/ jour), la farine crue rencontre les gaz chauds sortant du four. Ces mêmes gaz sont refoules dans une tour de conditionnement puis aspirés par un ventilateur à travers un filtre électrostatique qui récupère les poussières.

La farine crue quitte le système à une température aux environs de 300 à 350°C. Durant son déplacement dans le four à contre courant des gaz chauds, la matière première subit des réactions chimiques. Le four est subdivisé en quatre zones comme suit :

- Zone de déshydratation **100°C-450°C**  
→ (440°C décarbonatation eau de constitution des argiles)
- Zone de décarbonatation du **500°C- 1200°C**  
→ 500°C décarbonatation du  $\text{MgCO}_3$  en  $\text{MgO} + \text{CO}_2$   
→ 900°C décarbonatation du  $\text{CaCO}_3$  en  $\text{CaO} + \text{CO}_2$   
→ 950-1200°C formations du **C2**

- Zone de clinkerisation 1000°C-1450°C
- 1200-1250°C formations du C3A et C4 AF
- Vers 1300°C du premier liquide
- Vers 1450°C formation C3S avec disparition progressive de la chaux libre



**Figure II.8 : fours**

Le clinker produit à une température allant jusqu'à 1400°C est refroidi par des refroidisseurs à ballonnets.



**Figure II.9 : les ballonnets de refroidissement de clinker**

Les procédures de refroidissement après cuisson jouent un rôle important sur la forme et la réactivité des constituants du clinker. Le refroidissement s'effectue en deux étapes : quand la température de cuisson atteint 1450°C, le clinker est refroidi dans le four rotatif jusqu'à 1200 à 1300°C ; La deuxième étape se produit dans le refroidisseur à une très basse température afin de figer les différentes phases du produit obtenu et neutraliser leur décomposition, ainsi empêcher entre autres la cristallisation du MgO en périclase. En cuisson du ciment, on s'efforce par un refroidissement rapide de maintenir autant que possible l'état du clinker à la température maximale pour garantir des teneurs élevées en C3S avec une structure cristalline correspondante à une meilleure activité pendant l'hydratation. Le processus de cristallisation et de solidification, au cours de la fabrication industrielle du clinker, dépend essentiellement de la composition chimique du produit de cuisson et de la vitesse de refroidissement. La possibilité de former des germes et la vitesse de cristallisation diminuent pendant le refroidissement en parallèle avec l'augmentation de la viscosité, l'état amorphe peut donc se maintenir. Les matières riches en silice se solidifient à l'état vitreux, ce qui est dû à l'assemblage des éléments ( $\text{SiO}_4^{4-}$ ) pendant le refroidissement, en formant un réseau avec des ponts d'oxygènes. Par conséquent la viscosité augmente fortement de sorte qu'un réseau cristallin ne peut plus s'ordonner. Par contre, les silicates fondus riches en chaux ne présentent pas cette augmentation progressive de la viscosité lors du refroidissement. Ils se cristallisent presque toujours parce que CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O agissent comme de véritables formateurs du réseau. C'est la raison pour laquelle les aluminates et les aluminoferrites fondus, riche en chaux, cristallisent malgré un refroidissement rapide. [4]

### II.9.3. Broyage du ciment

Le clinker doit être à son tour broyé très finement. Ce broyage s'effectue dans des broyeurs à boulets. Les corps broyant sont constitués de boulets d'acier qui, par choc, font éclater les grains de clinker et amènent progressivement le ciment à l'état de fine farine, A la sortie du broyeur, un cyclone sépare les éléments suffisamment fins des autres qui sont renvoyés à l'entrée du broyeur. C'est également lors du broyage que l'on ajoute au clinker le gypse (3 à 5%) indispensable à la régulation de prise du ciment. On obtient alors le ciment « Portland » Les ciments "à ajouts" sont obtenus par l'addition au clinker,

Le clinker est acheminé vers des trémies de stockage et les ajouts sont repris du stock par un gratteur portique du hall est acheminés par l'intermédiaire de transporteur à bande vers

les trémies de stockage et d'alimentation des broyeurs, le ciment est transporté par un élévateur et des aéroglistes vers les séparateurs dynamiques. La température du ciment à la sortie doit être entre 115 et 125° C.

Les grosses particules reviennent au broyeur et les fines passent vers les cyclones, puis envoyées de stockage à l'aide d'une pompe à flux.

#### **II.9.4. Refroidissement du ciment**

Le refroidisseur de ciment est un réservoir d'acier vertical à l'intérieur duquel tourne une hélice à proximité immédiate de sa paroi intérieure. Le ciment chaud venant du broyeur, est dirigé sur le fond du refroidisseur et s'élève le long de la paroi par la rotation de la vis du réservoir pendant que l'eau froide ruisselle à l'extérieur de la paroi. Ainsi, lorsque le ciment quitte le refroidisseur par le haut, il est refroidi à 60-70°C, La température du ciment après le refroidisseur dépend de la quantité d'eau de refroidissement

- Le stockage dans cinq silos de capacité (5fois 8000t) dans chacun deux voies ferrées et trois routes.
- La récupération des fines particules en suspension dans l'air est réalisée grâce à un filtre à manche, ces derniers étant décolmatés à intervalles réguliers par des jets d'air comprimé.

#### **II.9.5. Expédition**

- Dans l'atelier d'expédition route, il existe deux lignes pour le vrac et quatre lignes pour le sac équipés de 4 machines d'ensachage à 4 becs chacune.
- Le ciment est expédié soit en vrac soit en sacs. Le ciment en vrac est transporté sur des camions – citernes spéciaux, bennes de chemin de fer.
- Les camions citernes ou les bennes de chemin de fer roulent directement sous le silo et le ciment est rempli par le fond du silo.
- Toutes les machines de l'atelier d'ensachage peuvent être conçues pour la commande à distance à partir d'un tableau de commande et de contrôle. Les installations de dépoussiérage des silos se trouvent à leur sommet.

#### **II.10. Système de refroidissement**

Au niveau des broyeurs un système de refroidissement échangeur de chaleur est prévu pour le refroidissement de l'huile moteur et un deuxième échangeur de chaleur au niveau du symetro pour refroidir aussi l'huile. Un autre système de refroidissement par injection pour

refroidir les paliers du four et le même système de refroidissement par injection pour refroidir le ciment à l'intérieur du broyeur.

### **II.10.1. Circuit de refroidissement**

A la cimenterie Ain-Touta le type de circuit rencontré est celui fermé, l'eau de refroidissement tourne en circuit intégralement fermé qui assure le refroidissement des équipements tel que le four, le broyeur crue broyeur ciment, compresseurs. Une fois ayant refroidi ces derniers, l'eau est récupérée dans les postes de pompage ainsi retourne vers la tour ou elle subit un refroidissement.

#### **II.10.1.1. Refroidissement palier four rotatif**

Les fours à système de refroidissement fermé ont un dispositif de refroidissement des rouleaux porteurs.

- **Le refroidissement du palier**

Se fait en continu, à l'eau. Il est nécessaire pour éviter le réchauffement de l'huile qui perdrait son pouvoir lubrifiant à hautes température. L'eau de refroidissement est amenée aux paliers des galets porteurs par une conduit commune d'où partent des tuyaux piqués longeant chaque massif.

Le tuyau piqué est raccordé par des branchements à chaque palier de galet porteur dont les chambres à eau sont traversées par le fluide. A sa sortie du palier, l'eau est acheminée par un tuyau d'écoulement ouvert (15) jusqu'à l'auge (16) dans la semelle de palier et de là, elle passe en un flot continu à une trémie d'épuisement commune à tous les supports. Le niveau d'eau dans l'auge (16) peut être réglé à l'aide du tuyau (17) normalement, il doit être si bas que le galet porteur ne vienne pas en contact avec le fluide.

- **Le volume d'eau de refroidissement**

A chaque palier, se règle à l'aide du robinet de régulation. Le robinet de passage est à 3 lumières en T, tournant et ouverture de désaéragage. Lorsque ce robinet est fermé, les chambres à eau des paliers se trouvent en liaison avec l'atmosphère par ce robinet. Le tuyau d'épuisement, dont l'embouchure se trouve à un niveau plus bas que le fond des chambres, fait fonction de siphon et les vide de leur eau. Elles doivent être vidées à risque de gel, pour que le tuyau d'écoulement joue le rôle de siphon, il faut que sa section transversale soit

remplie d'eau, c'est-à-dire qu'avant de couper le vidage, il faut que l'admission d'eau de refroidissement soit entièrement ouverte.

- **Température de sortie de l'eau de refroidissement**

Ne doit pas dépasser celle d'entrée de plus de 10°C , dans le tuyau d'épuisement. On évite ainsi que la température d'huile, qui est difficilement mesurable, ne s'élève trop.

La température du ciment à sa sortie de broyeur doit être au niveau de 120° C env. Le ciment est refroidi à l'intérieur du broyeur par injection d'eau. Souvent le refroidissement à l'eau n'est pas nécessaire, mais il s'impose pour les gros broyeurs alimentés en clinker à plus de 90° C, où la température du ciment peut être si élevée qu'un refroidissement à l'eau dans l'entrée s'impose. L'injection d'eau se fait simplement par atomisation, l'eau étant mélangée à l'air avant l'injection. La tube d'injection peut être introduit directement dans l'entrée mais la sortie des broyeurs à attaque centrale, l'eau de refroidissement doit entrer par presse-étoupe.

La quantité d'eau injectée est régulée automatiquement de telle sorte que les températures à la cloison et à la sortie restent constantes à un niveau référence règle d'avance.

Le broyeur n'exige pas d'air, ni pour le refroidissement, ni pour le séchage, mais il faut qu'il y ait peu de tirage d'air à travers pour évacuer les vapeurs d'eau. Cet air saturé de vapeur est aspiré par le ventilateur de filtre dans l'électrofiltre, dans lequel la poussière est captée.

### **II.11. Diagnostic de circuits de refroidissement à SCIMAT**

Comme tous les circuits de refroidissement, celui de SCIMAT est affecté par les phénomènes de la corrosion et de l'entartrage ainsi que les proliférations biologiques. Ces phénomènes sont généralement résolus par l'addition des produits anticorrosion, antitartrage qui sont TRASAR 3DT149 , l'acide sulfurique. Le TRASAR 3DT149 empêche la formation de dépôts de carbonate de calcium et/ou de sulfate. Excellent dispersant pour le phosphate de calcium et les oxydes de fer. Résistant à la dégradation à haute température, aux longs temps de séjour et à la présence de biocides oxydants dans le système.

Aide à maintenir un transfert de chaleur et une efficacité du système optimaux. Surveillance des performances en temps réel et gestion des urgences avec la technologie 3D TRASAR. Faisceau de tubes et durée de vie de l'équipement plus longs en raison de la

corrosion réduite des surfaces. On a détecté des fuites au niveau des conduites de la station. On a également détecté l'absence des bassins de secours et l'absence de nettoyage des bassins existants.

**II.12. Conclusion**

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté la cimenterie Ain-Touta et donné brièvement le processus de fabrication du ciment, ainsi que le circuit de refroidissement de cette entreprise. Il apparaît que le système de refroidissement souffre de quelques problèmes à savoir la corrosion et l'entartrage qui se manifestent en raison de la qualité des eaux d'alimentation.

**Références bibliographiques**

- [1] Composition spécifications et critères de conformité de ciment courants, Cimentpartie1, NF EN 197-1 (P15-101-1).
- [2] Rompaey, (2006) Etude de la réactivité des ciments riches en laitier, à basse température et à temps court, sans ajout chloré, 372 pp, ULB, Bruxelles.
- [3] A. Govin,(2004) Aspects physico -chimique de l'interaction bois-ciment modification de l'hydratation du ciment par le bois , *Thèse de doctorat* ,Université de Limoges .France
- [4] Phoummavong V, (2006) Matériaux de construction, cours en ligne du campus numérique francophone de Vientiane.
- [5] Charef , F. ; Laib , K ,(2019) . Etude et évaluation des impacts environnementaux liés à la fabrication du ciment cas de la cimenterie Ain –Touta-Batna, *Mémoire de master*, Université Batna. Algérie

## CHAPITRE III

---

# ETUDE DE QUALITY DES EAUX DE REFROIDISSEMENT

---

**Introduction**

En plus du fait qu'elle refroidit l'unité en fonctionnement, l'eau en circulation peut aussi générer des actions : produire du tartre, corroder les échangeurs de chaleur, les revêtements intérieurs, les pompes, les vannes, etc, attaquer les matériaux de construction de la tour de refroidissement. Elle peut fournir un milieu favorable à la croissance de micro-organismes, générer des aérosols contenant des bactéries de type légionnelles et contribuer aux problèmes de pollution. Pour minimiser ses phénomènes, il est impératif de traiter les eaux destinées d'alimenter le circuit de refroidissement.

**II.1. Les différents types des eaux aux niveaux de la société****III.1.1. Les eaux brutes**

C'est l'eau de l'environnement qui n'a pas été traitée et qui n'a éliminé aucun de ses minéraux, ions, particules, bactéries ou parasites. L'eau brute comprend l'eau de pluie, les eaux souterraines, l'eau des puits d'infiltration et l'eau des corps tels que les lacs et les rivières.

L'eau brute est généralement considérée comme impropre à la consommation humaine en raison de la présence de polluants. Un problème de santé majeur dans certains pays en développement est l'utilisation de l'eau brute pour boire et cuisiner.

Les industries de la construction peuvent utiliser de l'eau brute pour fabriquer du ciment ou desserrer les routes non goudronnées pour empêcher la poussière de monter. L'eau brute peut également être utilisée pour la chasse d'eau des toilettes et le lavage des voitures, ainsi que pour tout autre usage qui ne nécessite pas de consommation humaine. L'eau sous cette forme est considérée comme brute, par opposition à l'eau qui a été traitée avant la consommation, comme l'eau potable ou l'eau qui a été utilisée dans un processus industriel, comme les eaux usées.

**III.1.2. Les eaux traitées**

Traitement de l'eau, un terme pour décrire les processus qui ont lieu pour rendre l'eau, après avoir été traitée, adaptée à un usage spécifique. Cela comprend son utilisation comme eau potable, ainsi que dans des utilisations industrielles, médicales et autres.

En général, le but principal du traitement de l'eau est d'éliminer ou de réduire tout plancton ou polluants afin que l'eau soit adaptée à son objectif.

L'installation à pour le but de relever les eaux brutes en provenance d'eau de forage pour alimenter une osmose inverse créant l'eau d'appoint et le réservoir d'eau procédé. L'eau de procédé est distribuée sur les points de consommation. L'eau d'appoint est transférée vers les deux circuits de refroidissement. Un circuit sur le broyage cru et ligne cuisson et l'autre sur

le broyage ciment. Chaque circuit est équipé d'une tour de refroidissement, d'une filtration partielle et d'un conditionnement des eaux.

### **III.2.Station de traitement des eaux**

La station de traitement des eaux est conçue pour le traitement basé sur une filtration, chloration et d'une réduction des nitrates pour l'eau destinée à la consommation (Eau potable) et une filtration, adoucissement d'eau brute pour l'eau industrielle, l'eau chaude est récupérée pour un refroidissement dans une tour de refroidissement par évaporation.

L'eau industrielle est obtenue à partir des prélèvements de la fosse au niveau des eaux souterraines près de la cimenterie, et est préalablement stockée dans le réservoir L qui fournit une capacité de 2000 m<sup>3</sup> et un débit de 50 m<sup>3</sup> / h.

A la sortie du réservoir se trouvent trois (3) pompes K8, K9, K10 dont K8 destinées à alimenter le circuit incendie en eau brute. K9, k10 pompe 50m<sup>3</sup> / heure d'eau pour filtre à charbon actif.

Il existe également un réservoir d'eau sous pression avec un réservoir de stockage d'air qui sert à extraire l'eau du réservoir. La pression démarre et arrête les pompes à eau industrielles.

L'eau recyclée est refroidie par une tour de refroidissement de 150m<sup>3</sup> / h située au-dessus du réservoir d'eau industrielle, équipée de deux ventilateurs (K20, K21) qui réduit la température de l'eau recyclée. Cette dernière est partagée en nid d'abeille pour faciliter le refroidissement, et la température d'entrée est de 55 ° C et 35 ° C en sortie.

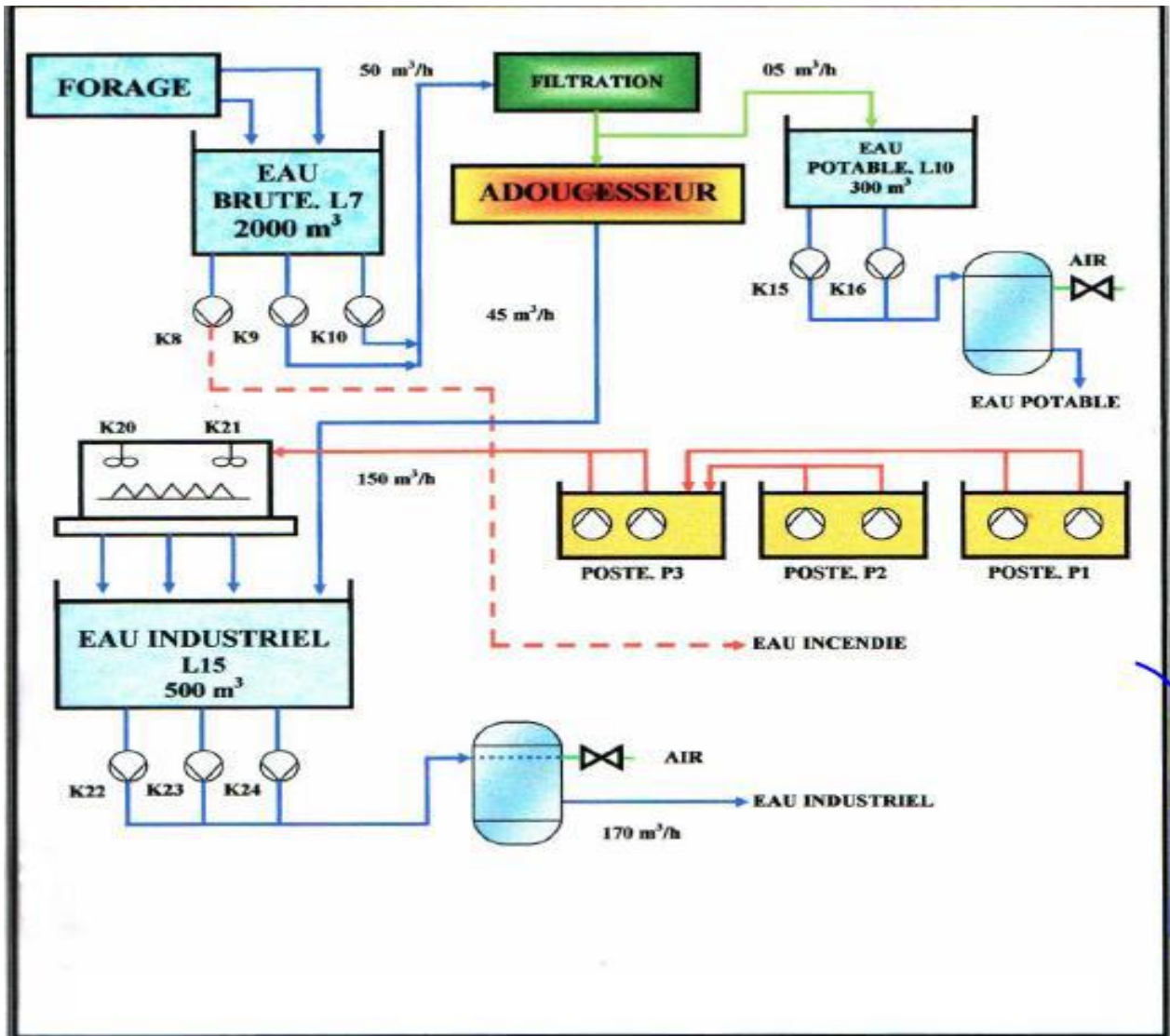


Figure III.1 : Schéma de la station de traitement des eaux.

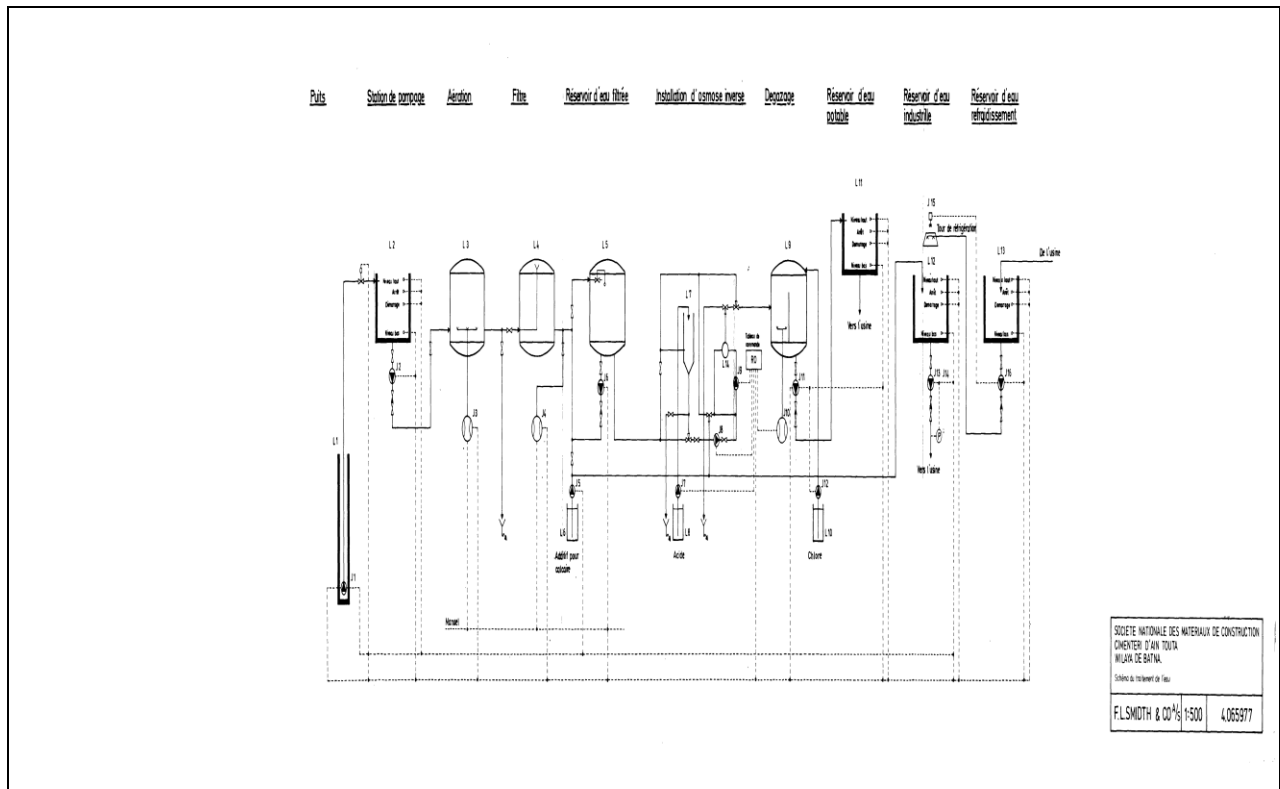


Figure III.2 : Schéma de la station de traitement des eaux de l'usine.

### III.3. Circuit de refroidissement

A la cimenterie **Ain-Touta** le type de circuit rencontré est celui fermé, l'eau de refroidissement tourne en circuit intégralement fermé qui assure le refroidissement des équipements tel que le four, le broyeur crue broyeur ciment, compresseurs. Une fois ayant refroidi ces derniers, l'eau est récupérée dans les postes de pompage **P1**, **P2** et **P3** ainsi retourne vers la tour ou elle subit un refroidissement.

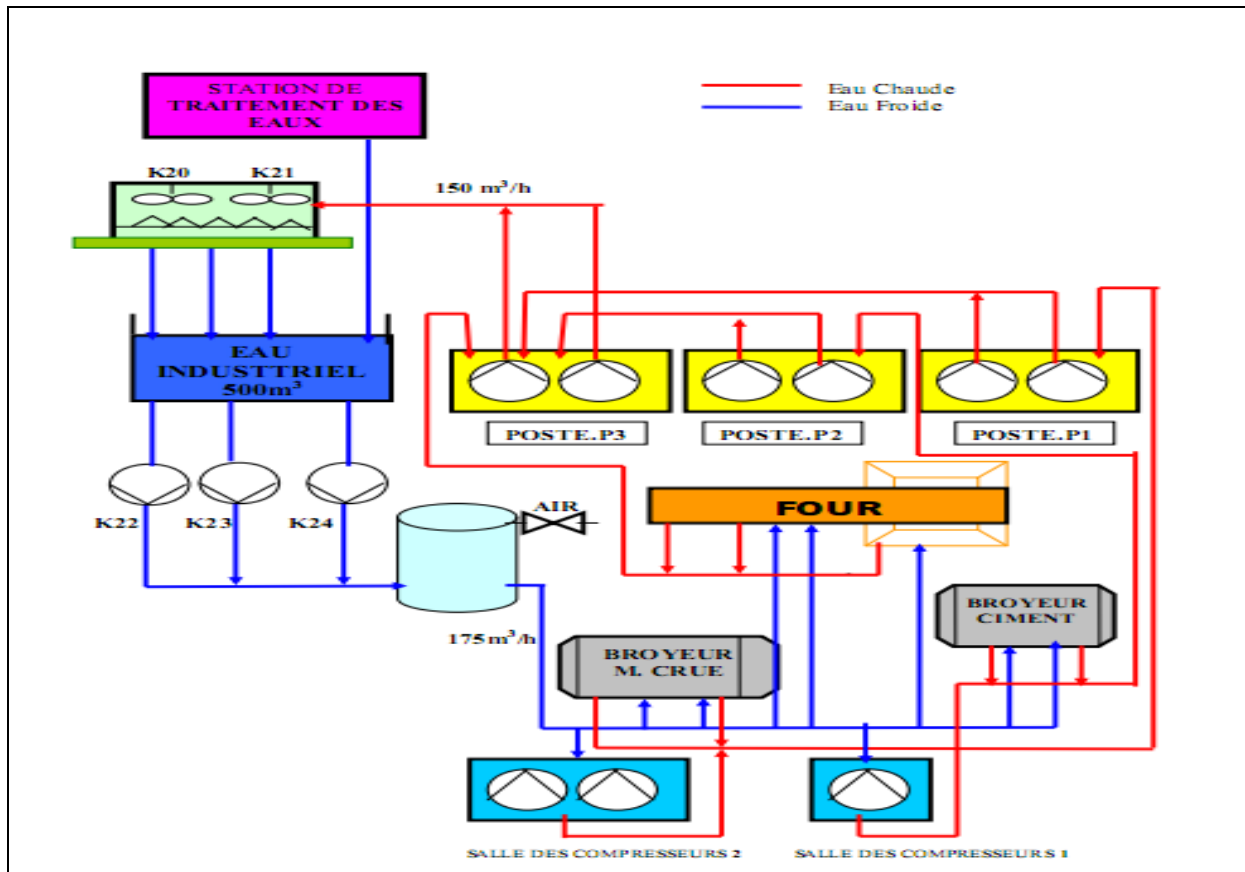


Figure III.3 : Schéma de circuit de refroidissement

### III.4. Qualité des eaux destinées à l'alimentation de circuit de refroidissement

Les eaux qui alimentent les circuits de SCIMAT, sont les eaux de forage L1 et L2 existant à l'extérieur de l'entreprise à 3 Km. Les analyses physico-chimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire. Ces analyses ont été réalisées afin de démontrer la qualité physico-chimique de ces eaux et en déduire leur impact sur le circuit de refroidissement.

Caractéristiques	puit1	puit2	Station de pompage	eaux de refroidissement
Chlore résiduel	/	/	/	/
pH	6.9	6.77	7.22	7.37
température	16.3	17.0	15.7	17.4
conductivité	770	844	839	829
TDS	340	373	371	366
Salinité	0.3	0.3	0.3	0.3
turbidité	9.390	1.160	0.750	0.968
Oxygène dissous	4.1	5.0	3.3	3.7
Ammonium	0.070	0.000	0.000	0.000
Nitrites	0.000	0.000	0.000	0.000
Nitrates	1.77	4.25	6.25	6.51
Orthophosphates	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe <sup>2+</sup>	0.000	0.000	0.001	0.000
Mat .organique	1.67	1.67	1.00	15.67
Co <sub>2</sub> libre	/	/	/	/
Calcium	88.18	96.19	100.20	72.14

Magnésium	97.96	100.95	79.95	98.46
Dureté	48.00	50.00	42.00	46.60
Chlorure	163.30	184.60	163.30	156.20
TA	0.000	0.000	0.000	0.000
TAC	26.00	26.90	26.20	20.50
Bicarbonates	317.20	328.18	319.64	250.10
Sulfate	90.84	192.76	202.44	209.84
Sodium	44.35	46.58	52.62	47.92
Potassium	8.500	3.150	3.260	2.900

L'eau utilisée comme fluide de refroidissement occasionne souvent des problèmes considérables de corrosion dans les circuits de refroidissement. Les exigences en matière de qualité requises pour l'eau de refroidissement sont souvent de type contradictoire et en conséquence, différentes les unes des autres.

Aspect :	si possible, incolore, clair et sans dépôt
Valeur pH :	7 à 8,5
Conductivité :	< 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ = 300 mS/m
Dureté totale :	< 60 ° dH après adoucissement : < 20° dH
Dureté carbonatée :	< 4 ° dH (<0,7 mol/m <sup>3</sup> )
Salinité totale :	< 1800 mg/l
Gaz carboniques agressifs :	0 mg/l
Calcium :	> 20 mg/l
Fer :	< 0,1 mg/l
Chlorure :	< 250 mg/l
Sulfate :	< 600 mg/l
Nombre des germes :	<10.000 UFC/ml
Légionnelles :	<100 UFC/100 ml

- La valeur de pH des eaux de forage et des eaux de refroidissement, est conforme à la norme.

Le pH des eaux est faiblement alcalin.

- Les valeurs de conductivité des eaux de forage et des eaux de refroidissement sont supérieures à la norme tolérante.

- Les teneurs en chlorures sont à la norme pour les eaux de forage et de refroidissement.

- Concernant les teneurs en sulfates, elles sont conformes à la norme pour les eaux de forage et de refroidissement.

- Les teneurs en calcium pour les eaux de forage, sont supérieures à la norme ;

- La valeur la dureté des eaux de refroidissement dépasse les normes ;

D'après les résultats d'analyses obtenues, nous pouvons conclure que les eaux de forage et celles de refroidissement sont de qualité moins bonne en raison des valeurs de la dureté et l'alcalinité et les teneurs en élément en calcium, sulfate et chlorure. Cette qualité peut provoquer les dépôts sous forme de sulfate de calcium, sulfate de magnésium, chlorure de calcium ou chlorure de magnésium.

### **III.5. Problèmes détectés au niveau du circuit de refroidissement**

Le diagnostic du circuit de refroidissement de l'unité a permis de détecter les problèmes suivants :

#### **III.5.1. Problèmes de corrosion, entartrage et prolifération biologique**

Les conditions qui règnent dans les systèmes de refroidissement sont favorables au développement de microorganismes, pH assez voisin de la neutralité, température tropicale, abondance des sels minéraux et de composés organiques servant de nutriments et lumière pouvant couvrir les besoins pour la photosynthèse dans les tours. La même chose pour l'entartrage, quand les conditions de dépôts existent, les tartres se forment facilement.

Les sels produisant les tartres le plus souvent dans les eaux de refroidissement sont la silice, le sulfate de calcium, le phosphate de calcium et le carbonate de calcium. Les dépôts incrustants de calcaire et la corrosion dans les réseaux d'eau ont de tous temps été la cause de dysfonctionnements graves et parfois de pertes d'exploitation importantes. Les dégâts sont tout aussi importants mais plus coûteux encore dans l'industrie puisque ces dépôts se retrouvent dans les échangeurs de chaleur, les réservoirs d'eau chaude, les circuits de refroidissement et parfois même au cours des procédés de fabrication, entraînant dysfonctionnements, pannes et dans certains cas, des pertes d'exploitation qui peuvent s'avérer considérables.

Lorsqu'ils ne sont pas à l'origine de pannes ou de dysfonctionnements détectables, ces dépôts calcaires provoquent une réduction des échanges thermiques entre l'eau de chauffage ou l'eau industrielle et la source de chaleur causant de substantielles hausses de consommation d'énergie avec une nette diminution des rendements de l'installation.

La corrosion, due à l'attaque par l'oxygène et d'autres substances corrosives des parois et les équipements, constitue une autre menace à ne pas négliger puisqu'elle peut aller jusqu'à des ruptures de circuits.

### III.6.Solution proposées

Pour faire face à ces problèmes, les eaux destinées au refroidissement doivent être de bonne qualité et conformes aux normes de refroidissement.

- La déminéralisation des eaux peut être effectuée selon diverses techniques dont les principales sont : l'osmose inverse, la nano filtration et l'électrodialyse.
- L'adoucissement de l'eau à l'aide de résines chimiques régénérées avec du sel est la plus connue.
- Pour éviter la corrosion, la solution de la protection est l'utilisation des inhibiteurs chimiques tels que NALCO qui est ajouté dans le circuit de refroidissement afin de réduire ces dégâts. Toutefois, les eaux d'appoint doivent être déminéralisées pour être conformes et répondre aux normes des eaux de refroidissement.

Avantage du produit

- **Avantages du produit NALCO 3DT149**
  - Empêche la formation de dépôts de carbonate de calcium et/ou de sulfate.
  - Excellent dispersant pour le phosphate de calcium et les oxydes de fer.
  - Résistant à la dégradation à haute température, aux longs temps de séjour et à la présence de biocides oxydants dans le système.
  - Aide à maintenir un transfert de chaleur et une efficacité du système optimaux.

### III.7.Conclusion

La qualité des eaux de forage destinées à l'alimentation de circuit de refroidissement est médiocre qui influe négativement sur le circuit et provoque les dépôts des tartres, la corrosion des conduites et la prolifération algale et bactérienne. Des inhibiteurs chimiques tels que le 3D TRASAR 3DT149 et l'acide sulfurique sont ajoutés dans le circuit de refroidissement à SCIMAT, peuvent réduire les dégâts. Toutefois, les eaux d'appoint doivent être déminéralisées et conformes aux normes de refroidissement.

---

## CONCLUSION GÉNÉRALE

---

### Conclusion générale

L'eau est au cœur de la plupart des activités industrielles, qui produisent des eaux usées qu'il s'agit de traiter dans le respect de l'environnement. Eau potable, eau de chaudière, eau de process, eau de refroidissement, eau de lavage, eaux usées, eaux réutilisées, eaux recyclées... autant d'usages qui font de la gestion du cycle de l'eau dans l'industrie, un enjeu économique et environnemental complexe et spécifique à chaque activité.

La gestion durable des ressources représente un double enjeu de responsabilité environnementale et de performance économique pour sécuriser l'approvisionnement en eau et pour assurer la pérennité des activités industrielles. Par leurs spécificités, les industries requièrent de l'eau différente en termes de qualité et de quantité, tout au long du cycle de production. Nécessaire pour assurer le bon fonctionnement des installations, l'eau doit par ailleurs être traitée après utilisation pour limiter les rejets polluants dans l'environnement.

L'objectif de notre étude consiste à une présentation du système de refroidissement et la détermination de la qualité des eaux alimentant le circuit de refroidissement.

Les résultats obtenus montrent qu'au niveau de SCIMAT, le circuit de refroidissement est fermé et la qualité des eaux destinées aux eaux de refroidissement semble médiocre ce qui influe négativement sur les composants du circuit et par conséquent sur le rendement du procédé. Cet effet provoque les dépôts de tartre, la corrosion des conduites et la prolifération biologique.

Des inhibiteurs chimiques tels que le NALCO 3D TRASAR 3DT149 et l'acide sulfurique sont ajoutés dans le circuit de refroidissement afin de réduire ces dégâts. Toutefois, les eaux d'appoint doivent être déminéralisées pour être conformes et répondre aux normes des eaux de refroidissement. Les solutions proposées pour faire face à ces problèmes, sont :

- La déminéralisation des eaux afin de minimiser la salinité et la dureté par résines échangeuses, osmose inverse ou nanofiltration ;
- L'ajout d'autre anti tartrants plus puissant.
- L'emploi des inhibiteurs de corrosion tels que NALCO 3D TRASAR 3DT149

L'impact des eaux de refroidissement sur l'environnement est la consommation abusive de l'eau ce qui provoque l'épuisement de la nappe phréatique.

Nous proposons cependant de voir avec d'autres inhibiteurs de corrosion et tester par exemple des inhibiteurs verts de corrosion devenus de nos jours des agents attractifs. Si leur efficacité est prouvée, ces inhibiteurs pourraient être des substituts par excellence aux inhibiteurs de corrosion de nature chimique.