

Université Mohamed Khider – Biskra  
Faculté des Sciences et de la technologie  
Département : Chimie Industrielle



جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
قسم: الكيمياء الصناعية

Mémoire présentée en vue de l'obtention  
Du diplôme de Master en : Génie des Procédés  
Option : Génie de l'environnement

**Les eaux de refroidissement industriel cas E.N.I.C.A.B  
(Wilaya de Biskra) et impact sur l'environnement**

Présentée par :  
Rouane Islam

**Devant le jury composé de :**

Président : *Dr. Seghairi Noura*  
Encadreur : *Dr. Ounoki Samira*  
Examineur : *Pr. Youcef Leila*

Promotion Juin 2016

# Remerciements

Ce mémoire a été réalisé sous la direction de Madame OUNOKI SAMIRA, maître de conférence A à l'Université Mohamed Khider Biskra. Qu'elle veuille accepter l'expression de ma sincère reconnaissance et gratitude pour son suivi continué tout le long de la réalisation de ce mémoire et pour ses orientations et ses remarques.

J'adresse tout d'abord mes vifs remerciements à Mme Seghairi Noura, maître de conférence A à l'Université Mohamed Khider Biskra, pour l'honneur qu'elle me fait en présidant le jury de soutenance de ce mémoire.

Je remercie également Mme YUCEF Leïla, professeur à l'Université de Biskra, qu'elle veuille trouver ici l'expression de mes vifs remerciements pour avoir accepté de juger ce travail et d'en être également examinateur.

J'exprime ma gratitude au chef laboratoire de l'ENICAB et son équipe.

Je remercie également tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

## *DEDICACE :*

*Je dédie ce travail à :*

*MES PARENTS ;*

*Mes frères ;*

*Ma famille ;*

*Tous mes amis et collègues ;*

*Tous ceux qui me sont chers.*

Dédicace

Remerciements

---

## Sommaire

---

Introduction générale 01

---

### CHAPITRE I « Refroidissement des eaux »

---

I-1 Introduction 03

I-2 Définition 03

I-3 Type de circuits 04

I-3-1 Circuits ouverts 04

I-3-2 Circuits semi-ouverts 05

I-3-3 Circuits fermés 06

I-4 Principes de fonctionnement 06

I-5 Qualité des eaux de refroidissement 07

I-5-1 Phénomène de corrosion, entartrage et prolifération biologique 08

I-5-1-1 Corrosion 08

I-5-1-2 Entartrage 09

I-5-1-3 Prolifération biologique 09

I-5-2 Critère de qualité des eaux de refroidissement 10

I-6 Dimensionnement 11

I-6-1 Notion de cycle de concentration 11

I-6-2 Expression en pourcentage de purge 11

I-6-3 Définition des termes utilisés pour les calculs 12

I-6-4 Nombre de cycles de concentration 12

I-7 Conclusion 13

---

### CHAPITRE II « Système de refroidissement à l'ENICAB (Wilaya de Biskra) »

---

II-1 Introduction 14

<b>II-2 Généralités sur l'unité de l'ENICAB</b>	<b>14</b>
<b>II-2-1 Câbles basse tension</b>	<b>15</b>
<b>II-2-2 Câbles moyenne tension</b>	<b>16</b>
<b>II-2-3 Câbles haute tension</b>	<b>16</b>
<b>II-3 Les différents halls de fabrication et les ateliers de l'entreprise</b>	<b>17</b>
<b>II-4 Différentes sections de l'unité</b>	<b>18</b>
<b>II-4-1 Section fabrication de granulé</b>	<b>18</b>
<b>II-4-2 Système de refroidissement</b>	<b>18</b>
<b>II-4-3 Système de production d'air comprimé</b>	<b>19</b>
<b>II-4-4 Système de production de vapeur</b>	<b>19</b>
<b>II-4-5 Salle de contrôle</b>	<b>19</b>
<b>II-5 Matières premières</b>	<b>19</b>
<b>II-6 Phases de fabrication</b>	<b>20</b>
<b>II-6-1 Phase 1 : Tréfilage</b>	<b>20</b>
<b>II-6-2 Phase 2 : assemblage (câble nu)</b>	<b>20</b>
<b>II-6-3 Phase 3 : Isolation</b>	<b>20</b>
<b>II-6-4 Phase 4 : Assemblage (câble avec isolation)</b>	<b>20</b>
<b>II-6-5 Phase 5 : Armure des câbles électriques</b>	<b>20</b>
<b>II-7 Circuit de refroidissement a l'ENICAB</b>	<b>21</b>
<b>II-8 Diagnostic de circuits de refroidissement à l'ENICAB</b>	<b>25</b>
<b>II-9 Conclusion</b>	<b>25</b>

---

**CHAPITRE III « Qualité des eaux de refroidissement et résolution des problèmes »**

---

<b>III-1 Introduction</b>	<b>26</b>
<b>III-2 Qualité des eaux destinées à l'alimentation de circuit de refroidissement à l'ENICAB</b>	<b>26</b>
<b>III-2-1 Analyses effectués à l'université</b>	<b>26</b>
<b>III-2-1-1 Méthodes d'analyses</b>	<b>26</b>
<b>III-2-1-2 Résultats d'analyses physico-chimiques</b>	<b>27</b>
<b>III-2-2 Analyses effectués à l'ENICAB</b>	<b>28</b>
<b>III-2-2-1 Méthodes d'analyses</b>	<b>28</b>

---

## SOMMAIRE

<b>III-2-2-2 Résultats d'analyses physico-chimiques</b>	<b>37</b>
<b>III-3 Problèmes détectés au niveau de refroidissement de l'ENICAB</b>	<b>39</b>
<b>III-3-1 Insuffisance des eaux de dilution</b>	<b>39</b>
<b>III-3-2 Absence des bassins de secours</b>	<b>40</b>
<b>III-3-3 Problèmes de corrosion, entartrage et prolifération biologique</b>	<b>40</b>
<b>III-4 Impact des eaux de refroidissement sur l'environnement</b>	<b>41</b>
<b>III-5 Conclusion</b>	<b>42</b>
<b>Conclusion générale</b>	<b>43</b>
<b>Références bibliographiques</b>	
<b>Résumé</b>	

# INTRODUCTION GENERALE

## INTRODUCTION GENERALE

Les quantités d'eau mise en jeu par les activités humaines sont extrêmement importantes, la demande ne fait que croître alors que les ressources en eau douce ne varient pas, car étant liées au phénomène météorologique qui reste statistiquement à peu près constant dans la plupart de pays.

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 :

- Rareté de l'eau en certains lieux de plus en plus nombreux la demande serait supérieure aux débits naturels disponibles.
- Modification de la qualité par l'utilisation, soit modification thermique (élévation de la température qui amène une modification de la flore et de la faune aquatique), soit modification chimique par introduction de sous-produits plus ou moins nocifs de l'activité humaine qui aboutissent à la destruction de la flore et de la faune. (SUEZ, 2006)

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. (Duvivier, 2006)

Enfin, de nombreux pays ont mis en place une réglementation obligeant les industriels à réduire leurs prélèvements d'eau dans le milieu naturel et de ce fait à recycler et réutiliser davantage d'eau.

L'unité de l'ENICAB Biskra est une unité qui sert à produire des câbles électriques de divers types et natures. L'industrie des câbles électriques nécessitent des quantités importantes d'eau à une température très basse afin de refroidir les machines ainsi que les câbles produits. 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 refroidisseur ainsi que sur les machines et les câbles à refroidir.

Le but de notre étude consiste à la présentation du circuit de refroidissement à l'ENICAB et à la détermination de la qualité physicochimique des eaux de refroidissement de l'unité de

l'ENICAB BISKRA 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 le dimensionnement d'une unité de refroidissement industriel. Le deuxième chapitre récapitule le système de refroidissement industriel à l'ENICAB BISKRA. Par contre, le dernier chapitre sera consacré à la détermination de la qualité des eaux de refroidissement et l'impact de ces dernières sur l'environnement.

# CHAPITRE 1

## REFROIDISSEMENT DES EAUX

## **I-1 Introduction**

Les eaux de refroidissement sont largement utilisées dans la plupart de l'industrie des pays développés notamment dans les centrales électriques thermiques ou nucléaires pour la condensation de la vapeur ; dans la sidérurgie pour le refroidissement des installations servant à la fabrication 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.

Ces utilisations représentent des quantités d'eau extrêmes importantes, à titre d'exemple :

- La production d'une tonne d'acier utilise 150 tonne d'eau ;
- La production d'une tonne de papier nécessite 25 m<sup>3</sup> d'eau ;
- La production d'énergie électrique demande 3 m<sup>3</sup>/MWh pour la vapeur et 60 m<sup>3</sup>/MWh pour le refroidissement ;

Au total, ces consommations pour le monde entier sont plusieurs fois supérieures aux consommations domestiques, et cette disproportion est d'autant plus grande que le pays est plus industrialisé. (Duvivier, 2006)

## **I-2 Définition de tour de refroidissement**

D'une façon générale, tout procédé lié à une activité de type industriel, de conditionnement d'air ou de réfrigération, produit une certaine quantité d'énergie perdue sous forme de chaleur. Cette chaleur perdue devra être rejetée dans l'environnement et nécessite donc un refroidissement.

De manière générale, quel que soit le procédé, plus la température à laquelle peut s'effectuer ce rejet sera basse, meilleur sera le rendement du procédé.

Une tour de refroidissement est un échangeur d'un type particulier qui permet de rejeter de la chaleur dans l'air d'environnement sous forme à la fois de chaleur sensible et de chaleur latente du fait de l'augmentation de son humidité. Il est possible de refroidir un fluide jusqu'à une température supérieure de quelques degrés à la température humide de l'air ambiant (et donc éventuellement inférieure à sa température sèche), ceci au prix d'une quantité d'eau consommée de l'ordre de 5 % de celle que demanderait un refroidissement à eau. Tant sur le plan économique qu'environnemental, les tours de refroidissement sont des systèmes très intéressants, notamment en climat chaud et sec. (Bekhadouma, Benali, 2014)

Selon les températures souhaitées pour obtenir le rendement optimal du process, l'on peut distinguer quatre catégories de technologie de refroidissement :

- **L'eau**, avec refroidissement par passage unique ; aujourd'hui, beaucoup de procédés, particulièrement dans les applications industrielles, utilisent toujours ces systèmes à « eau perdue » (interdit par l'arrêté du 2 février 98, article 14) entraînant pollution, nuisance pour l'environnement et gaspillage de ce si précieux élément qu'est l'eau. Il est donc primordial de prendre en compte d'autres systèmes.

- **L'air évaporatif** : ce principe, appelé refroidissement évaporatif, est celui utilisé dans les tours de refroidissement. En réutilisant 95% de l'eau de refroidissement, il est le plus adapté pour le refroidissement de procédés nécessitant des températures comprises entre 25°C et 45°C.

- **L'air sec**, utilisé dans tous les aéroréfrigérants secs, est destiné au procédé ayant un rendement optimal avec des températures supérieures à 45°C. Dans les applications de conditionnement d'air, beaucoup de procédés utilisent aujourd'hui des condenseurs à air pour évacuer la chaleur générée. Ces systèmes entraînent à la fois des consommations électriques et des coûts d'installation très élevés.

- **Le refroidissement mécanique par groupes frigorifiques** qui sera utilisé pour des températures de refroidissement inférieures à 25°C et pour tout besoin en températures négatives. (XPAIR ,2014)

### **I-3 Type de circuits**

#### **I-3-1 Circuits ouverts**

Ce sont des circuits sans recirculation d'eau ou systèmes à passage unique (once through system) ou au fil de l'eau. Nous ne les décrivons pas puisqu'ils ne comportent pas d'équipement propre, l'eau chauffée par le procédé industriel étant rejetée dans le milieu naturel. Tout au plus existe-t-il des équipements annexes destinés à filtrer l'eau ou à lui ajouter parfois des produits de traitement. C'est un système très répandu lorsque l'on dispose d'eau en assez grande quantité. Comme nous l'avons déjà dit, ce type de système est moins en moins utilisé en raison des prélèvements d'eau importants qu'il nécessite et de l'augmentation de chaleur du milieu récepteur. Un schéma simplifié d'un circuit ouvert est représenté sur la figure 1.

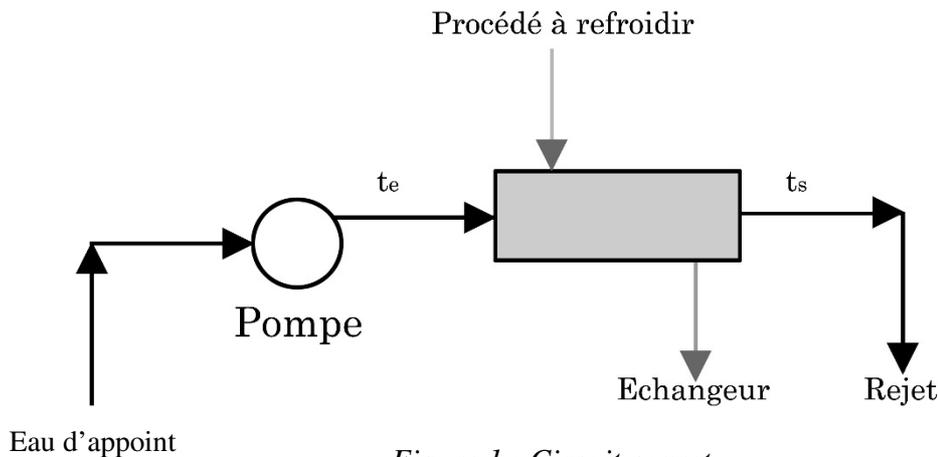


Figure 1 : Circuit ouvert

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 :

$$\Delta T (^{\circ}\text{X}) = t_s - t_e \text{ (Duvivier, 2006)}$$

Tels que :

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

$t_s$  : température de l'eau sortie

$t_e$  : température de l'eau entre

L'une des caractéristiques principales de ce type de circuit est la quantité relativement importante d'eau qui est généralement nécessaire au refroidissement. Les problèmes les plus fréquemment rencontrés sont : les salissures et les dépôts de tartre. (Duvivier, 2006)

### I-3-2 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.

Dans les tours à tirage forcé ou induit, l'air circule généralement à contre-courant de l'eau à refroidir. On peut trouver des variantes : courants croisés, etc. Les fabricants de tours proposent des réfrigérants modulaires, placés en batterie, qui permettent d'adapter les besoins en refroidissement aux conditions d'exploitation. (Duvivier, 2006)

### **I-3-3 Circuits fermés**

Les circuits fermés sont en réalité constitués par deux systèmes liés thermiquement ; l'un complètement fermé (aux fuites près) sert à faire circuler l'eau et à refroidir le procédé par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur, l'autre, appelé aussi circuit secondaire, sert à refroidir l'eau réchauffée. Ce circuit secondaire est très souvent un circuit semi-ouvert ou un système de batteries aérothermes (refroidissement par air). L'exemple le plus connu est le refroidissement des moteurs thermiques avec circulation fermée d'eau, le refroidissement de l'eau se faisant avec un échangeur de chaleur à air (le radiateur dans une automobile). L'avantage de ce procédé est qu'il ne consomme théoriquement pas d'eau. Il est aussi très facile de maintenir une composition homogène de cette eau dans tous les points du circuit. Il y a deux inconvénients :

- Dispositif de refroidissement assez volumineux ;
- Obtention d'une température « basse » relativement élevée. (Duvivier, 2006)

### **I-4 Principes de fonctionnement**

Nous avons vu qu'un réfrigérant atmosphérique est un échangeur de chaleur dans lequel l'eau à refroidir s'écoule en contact avec l'air ambiant en la faisant ruisseler sur des empilages de claies ou de plaques superposées (zone de dispersion), c'est le garnissage ou packing qui constitue le corps d'échange thermique. Il est enfermé dans une tour assurant une circulation d'air la meilleure possible.

La fonction de cette tour de refroidissement est uniquement de refroidir de l'eau chaude. On fait circuler l'eau refroidie ainsi obtenue jusqu'à l'unité en fonctionnement, où son rôle est d'éliminer la chaleur produite dans cette unité. De ce fait, l'eau refroidie redevient chaude et est renvoyée à la tour de refroidissement pour être refroidie et recyclée.

Cette eau est refroidie au moyen d'un contact intime avec l'air par deux processus :

- Conduction : la chaleur provenant de l'eau chaude est transférée par contact à l'air plus froid. Ceci représente environ 15 à 25 % de l'échange total de chaleur.

- Evaporation : le poids d'eau vaporisée par unité de temps et de surface est proportionnel à la différence entre la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air atmosphérique et la pression de la saturation en vapeur d'eau de cet air à la température  $t$ .

Cette différence de pression partielle est elle-même proportionnelle à la différence entre le poids de vapeur par kg d'air sec en contact avec l'eau, et le poids de vapeur par kg d'air saturé à la même température.

En pratique, la quantité d'eau évaporée par heure se situe entre 1 et 3 % de la quantité d'eau circulée pour une différence de température de 10 C°, cette quantité variant suivant l'état hygrométrique de l'air, la température d'entrée de l'eau et aussi suivant la conception du réfrigérant.

- Pertes par entraînement mécanique ou vésiculaire

Le contact intime entre le courant d'air et le courant d'eau donne lieu à un entraînement vésiculaire que l'on contrôle par un séparateur de gouttelettes ou dévésiculateur des chicanes ; néanmoins cette pertes existe et peut être très variable, de 0.5 à 0.0005 % de débit d'eau recirculée. Un séparateur efficace et un entretien régulier de la tour permettent de réduire le taux d'émission des gouttelettes. Cette perte ne concourt pas au refroidissement.

L'entraînement vésiculaire a un rôle très important dans la propagation des bactéries du type légionelles.

En vue de maintenir un volume relativement constant d'eau circulant à travers le système, les pertes par évaporation doivent être compensées par un apport d'eau fraîche.

- Concentration de l'eau en ses éléments dissous

Si de l'eau absolument pure, c'est-à-dire ne contenant aucun solide dissout était employée, il suffirait seulement de remplacer l'eau évaporée et les problèmes seraient réduits au minimum.

Mais de l'eau tout à fait pure, cela n'existe pas dans la nature et cela est trop coûteux à fabriquer. Les eaux naturelles contiennent des sels dissous ou en suspension, et des gaz dissous, qui sont tous causes de problèmes. (Duvivier, 2006)

### **I-5 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. (Bekhadouma, Benali, 2014)

### **I-5-1 Phénomène de corrosion, entartrage et prolifération biologique**

Puisque les circuits de refroidissement ont pour mission de refroidir des produits ou des unités de procès 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 corrosion, l'entartrage et des proliférations biologiques. (Bekhadouma, Benali, 2014)

#### **I-5-1-1 Corrosion**

La corrosion peut être définie comme la destruction progressive des matériaux de construction par leur environnement ce qui inclut en première position la corrosion électrochimique des métaux ; cette dernière est l'oxydation d'un métal par son environnement.

Selon le matériau de construction, on distingue trois types de corrosion :

- Corrosion galvanique ;
- Corrosion bactérienne ;
- Corrosion par concentration et aération différentielle.

Par contre, selon la forme de corrosion, il existe deux types de corrosion

- Corrosion uniforme ;
- Corrosion localisée.

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

- Inhibiteurs anioniques (anodiques) dont les principaux sont : Orthophosphates, nitrites et orthosilicates ;
- Inhibiteurs cathodiques dont les principaux sont : Polyphosphates, zinc, molybdates et polysilicates ;

- Inhibiteurs organiques dont les principaux sont : Phosphates, Thiazoles, Triazoles, amines filamantes et Tannins. (Duvivier, 2006)

### **I-5-1-2 Entartrage**

L'entartrage se produit toutes les fois que la concentration d'un sel est supérieure à sa limite de solubilité. Les tartres se déposent sous forme de dépôts généralement sur une surface chaude (la solubilité étant plus faible à chaud qu'à froid). Les sels produisant les tartres le plus souvent dans les de refroidissement sont la silice, le sulfate de calcium, le phosphate de calcium et le carbonate de calcium.

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 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). (Duvivier, 2006)

### **I-5-1-3 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. (Duvivier, 2006)

### I-5-2 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 1.

Tableau 1 : valeurs limites pour les caractéristiques de l'eau de circulation de la tour refroidissement conformément à la norme VDI 3803 (KTK BGMH, 2015)

Paramètre	Valeur limite
Aspect	si possible, incolore, clair et sans dépôt
Valeur pH	7 à 8,5
Conductivité	< 3000 $\mu$ S/cm = 300 mS/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'épaississement ne doit pas dépasser l'indice d'épaississement 8-10.

- 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 chlorure 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.

- 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  $SO_4$ .

- 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). (KTK BGMH, 2015)

## **I-6 Dimensionnement**

### **I-6-1 Notion de cycle de concentration**

Nous avons vu dans l'exemple précédent qu'en partant avec une eau contenant 400 ppm de solides dissous, nous arrivions au bout de 72 h de fonctionnement à volume constant à concentration de 1600 ppm en solides dissous. La teneur en solides dissous (SD) a été multipliée par 4, soit 4 cycles de concentration. (Duvivier, 2006)

### **I-6-2 Expression en pourcentage de purge**

Pour maintenir cette concentration en solides dissous de 1600 ppm, il faut remplacer une partie de l'eau à 1600 ppm par de l'eau initiale à 400 ppm :

La quantité à remplacer est de  $P = 400 \times 1000 / 1600 = 25 \%$

P = pourcentage de purge. (Duvivier, 2006)

### **I-6-3 Définition des termes utilisés pour les calculs**

Q : débit de recirculation de l'eau en m<sup>3</sup>/h. On l'estime en fonction des données portées sur la plaque de la pompe de recirculation.

$\Delta T$  : différence de température de l'eau entre l'entrée et la sortie du réfrigérant en C°.

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

E : débit de l'évaporation en m<sup>3</sup>/h. Il dépend de la quantité d'eau à refroidir, (Q) et de la différence de température, ( $\Delta T$ ). De façon, empirique, on évapore 1 % du débit de recirculation (Q) pour chaque chute de 5°C de température à travers la tour de refroidissement.

Ev : entraînement vésiculaire en m<sup>3</sup>/h

P : débit de la purge en m<sup>3</sup>/h, réglé pour limiter la conception des sels minéraux dans l'eau recirculée, concentration due à l'évaporation d'une partie de l'eau recirculée.

A : débit de l'appoint en m<sup>3</sup>/h (compense les pertes dues à la purge et à l'évaporation).

V : volume du circuit, en général on l'estime en pendant le volume du bassin plus 20 à 50 %.

$\tau$  : temps demi-séjour = 0.7 x (V/P). C'est le temps en heure dilué à 50 %, une substance introduite à un instant donné.

Rc : rapport de concentration entre la salinité de l'eau du circuit et la salinité de l'eau d'appoint.

En général, ce rapport est déterminé par le dosage des chlorures dans l'eau de l'appoint et du circuit et vérification de la stabilité du bicarbonate de calcium par dosage et comparaison des rapports sur les TH et les TAC.

La littérature anglo-saxonne sur ce sujet étant très abondante, nous donnerons les correspondances entre les deux langues. (Duvivier, 2006)

### **I-6-4 Nombre de cycles de concentration**

Ce nombre n'est pas choisi arbitrairement, il se trouve défini par la quantité initiale de matière dissoute (SD)<sub>a</sub> et par la concentration maximale tolérable de matières dissoutes dans l'eau en circulation (SD)<sub>c</sub>.

$$Rc = \frac{(SD)_c}{(SD)_a} \quad (1)$$

Il peut être défini pour chaque impureté de l'eau susceptible d'apporter une gêne, et c'est celui qui est obtenu pour l'impureté la plus rapidement gênante, donc le plus faible qui doit être retenu.

Pour les calculs qui vont suivre, nous supposons le circuit en régime permanent, c'est-à-dire la valeur de  $(SD)_c$  (en fonctionnement) atteinte :

$$A = P + E + Ev \quad (2)$$

Etant en régime permanent, il y a égalité entre les solides dissous entrant et ceux sortant.

$$A (SD)_A = (P + Ev)(SD)_c$$

L'équation (1) donne :

$$(SD)_c = R_c \times (SD)_A$$

On obtient :

$$A \times (SD)_A = (P+Ev)R_c \times (SD)_A$$

$$A = (P + Ev) R$$

Soit :

$$R_c = A/(P + Ev) = (P + E + Ev)/(P + Ev) = E/(P + Ev) + 1$$

D'où :

$$P + Ev = E/(R_c - 1) \quad (3)$$

Dans la pratique, la perte par entraînement vésiculaire est très faible, et on peut la négliger (dans une installation bien connue).

On arrive à :

$$P = E/(R_c-1) \quad (4)$$

$$A = PR_c \quad (5)$$

Et on obtient :

$$A = ER_c/(R_c-1) \quad (6) \text{ (Duvivier, 2006)}$$

### **I-7 Conclusion**

Les caractéristiques thermodynamiques de l'eau et sa disponibilité dans la plupart des régions industrielles ont fait de l'eau le fluide idéal pour le transfert de la chaleur dans le milieu industriel et dans les centrales électriques. Il existe trois types de circuits de refroidissement le plus nocif pour l'environnement est le circuit ouvert en raison de la mauvaise qualité d'eau qu'il rejette. Les eaux utilisées dans la tour de refroidissement doit remplir divers critères afin d'éviter les problèmes de corrosion, d'entartrage ou de développement bactérien.

CHAPITRE 11  
SYSTEME DE REFROIDISSEMENT  
INDUSTRIEL A L'ENICAB (WILAYA  
DE BISKRA)

## II-1 Introduction

L'Entreprise Nationale des Industries des Câbles de Biskra (E.N.I.C.A.B) est considérée comme l'un des grands projets et investissements à l'échelle nationale dans la production des câbles électriques. L'ENICAB est une entreprise, qui a obtenu la certification internationale de la qualité ISO 9001 et ISO 9002 par un engagement ferme de la direction de l'entreprise et de l'ensemble du personnel par la maîtrise de la qualité y compris la mise en application du Système Qualité conforme à la norme ISO 9002 reconnu mondialement. (ENICAB, 2008)

## II-2 Généralités sur l'unité de l'ENICAB

Depuis sa création en 1986 et de sa filialisation au groupe GENERAL CABLE en 2008, l'ENICAB (Entreprise Nationale des Industries des Câbles de Biskra), s'est bâtie une position d'acteur principal au niveau nationale et africaine dans la production des câbles électriques. Elle est située dans la zone industrielle à l'est de Biskra. Elle occupe une superficie de 44 ha, dont 12 ha sont couverts et dallés et disposent d'une infrastructure importante ; les halls de production des câbles occupent 7,5 ha (Figure 2). (ENICAB, 2008)



Figure 2 : Plan de l'entreprise

L'objectif principal de cette entreprise est la fabrication, le développement, et la commercialisation des câbles d'énergie basse, moyenne et haute tension.

L'unité fabrique parallèlement des composés PVC granulés pour divers usages industriels, alimentaires et domestiques. (ENICAB, 2008)

Une grande variété de câbles électriques est produite à l'unité, on peut citer :

### II-2-1 Câbles basse tension

- Câbles domestiques (Figure 3)
  - Fils et câbles rigides isolés au PVC ;
  - Fils et câbles souples isolés au PVC.

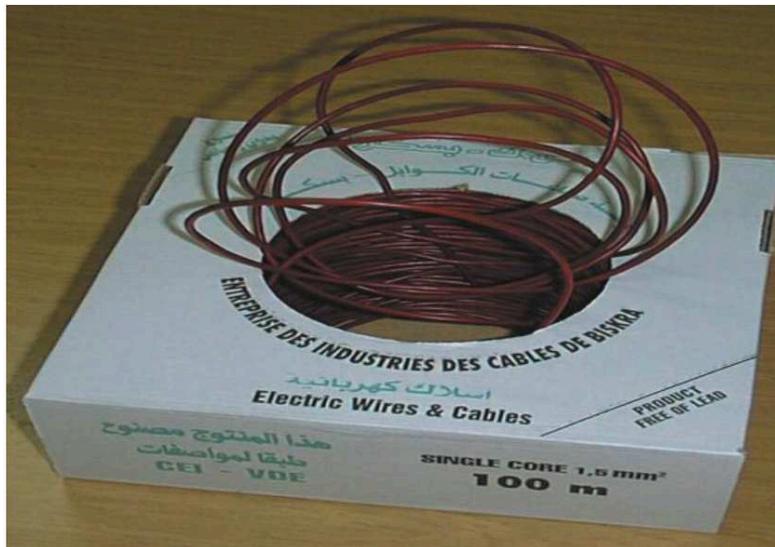


Figure 3 : Câble domestique au niveau de l'ENICAB

- Câbles industriels (Figure 4)
  - Câbles industriels isolés au PVC ;
  - Câbles industriels isolés au PRC.



Figure 4 : Câble industriel au niveau de l'ENICAB

- Câbles isolés par distribution d'électricité (Figure 5)
  - Câbles de réseaux ;
  - Câbles de branchement.



*Figure 5 : Câble de distribution (réseaux) au niveau de l'ENICAB*

### **II-2-2 Câbles moyenne tension** (Figure 6)

- Câbles unipolaires ;
- Câbles tripolaires.



*Figure 6 : Câbles moyenne tension au niveau de l'ENICAB*

### **II-2-3 Câbles haute tension**

- Câbles nus en cuivre ;
- Câbles nus en aluminium ;
- Câbles nus en alliage d'aluminium ;
- Câbles nus en alliage d'aluminium-acier.

Les différents granulés actuellement produits sont :

- Granulés pour production de câble (production semi-fini)
- Granulés pour la gaine extérieure résistante à l'U.V ;
- Granulés pour le bourrage ;
- Granulés de PVC colorés (blanc, gris, vert, rouge, jaune...).
- Composé PVC cristal et naturel :

Conditionné dans des sacs de 25 kg pour les utilisations suivantes :

- Bouteille eau minérale ;
- Emballage alimentaire ;
- Semelle pour chaussures (souple et rigide) ;
- Tuyau de pression ;
- Tuyau souple d'arrosage. (ENICAB, 2008)

### II-3 Les différents halls de fabrication et les ateliers de l'entreprise

AE	Atelier d'entretien
BC/BE	Bâtiment commande électrique de l'usine
CM1	Bâtiment stockage préparation
PVC CM2/CM3	Bâtiment stockage préparations plastifiants
GE/SD	Groupe électrogène station distribution
H1	Hall stockage métiers premiere (magazine)
H2	Hall tréfilage
H3	Hall gain age isolation PVC
H4	Hall gain age isolation PRS
H5	Hall réticulation PRC
H6	Hall champs d'essai
PA/PH	Bâtiment production d'air comprimé
PG/SD	Poste pompier station distribution
RD	Atelier récupération déchets câbles SH Stockage huile de graissage
ST1/ST2	Air de stockage avec pont roulant (ENICAB, 2008)

## II-4 Différentes sections de l'unité

L'unité ENICAB comporte diverses sections dont l'intérêt et le contenu varient d'une section à une autre, celles qui nous intéressent le plus sont :

### II-4-1 Section fabrication de granulé

- **Le pesage**

Quatre systèmes de pesage entièrement automatiques pour l'alimentation de sept mélangeurs.

Chacun des quatre systèmes de pesage comprend :

- Une Balance pour PVC ;
- Une Balance pour Stabilisants, Lubrifiants et autres additifs ;
- Une Balance pour Plastifiant ;
- Une Balance pour le système de pesage avec colorant en noire.

Les quantités de produits souhaites seront pesées dans les balance et mises à la disposition pour être introduites dans le mélangeur.

Le dosage de Plastifiant se fait directement par les conduites sous pression en ouvrant les vannes de dosage.

- **Le procédé de mélange**

Lorsque le pesage des matières pulvérulents est terminé, le mélange est relâché dans le mélangeur, le dosage du Plastifiant s'effectue automatiquement lors du mélange.

Le procédé de mélange étant terminé, la charge tombe chute libre à travers des conduites vers une trémie intermédiaire dans l'extrudeuse à double vis.

- **Fabrication des granulés**

La fabrication du granulé se fait à l'aide d'une extrudeuse à double vis. L'extrudeuse est chargée continuellement de la matière à traiter par un dispositif de chargement. La patte plastique est poussée continuellement dans une tête d'extrusion.

Les granulés sont fabriqués à l'aide d'un outil granulation à lame rotatif. A l'aide d'une soufflerie, les granulés sont transportés pneumatiquement au dispositif de refroidissement. Ils sont menés par des silos intermédiaires de stockage de granulés.

### II-4-2 Système de refroidissement

Un système de refroidissement (échangeur de chaleur) est prévu pour le refroidissement du cylindre et de l'entonnoir de remplissage afin d'éviter le collage du mélange de PVC. Un

système de dégazage est prévu pour l'évacuation des gaz qui se produisent lors de plastification.

### **II-4-3 Système de production d'air comprimé**

La section de production d'air comprimé est dotée de neuf compresseurs réglés et contrôlés automatiquement. La quantité d'air comprimé produite se distribue aux différents consommateurs :

- Atelier de tréfilage, tournage, câblage, assemblage ;
- Extrudeuses PVC ;
- Extrudeuses PRC ;
- Atelier de fabrication de tourets en bois ;
- Atelier de fabrication de PVC.

Les sections de consommation sont alimentées en air comprimé à l'aide des tuyauteries.

### **II-4-4 Système de production de vapeur**

La production de vapeur est assurée par trois chaudières combinées. La vapeur est amenée aux différentes sections de consommation par des tuyauteries.

### **II-4-5 Salle de contrôle**

Cette section de commande garantit une exploitation de l'installation avec un maximum de sécurité et un grand confort de services. On peut bloquer les fonctions importantes de l'installation pour éviter toute erreur et exclure ainsi toute possibilité de panne. (ENICAB, 2008)

## **II-5 Matières premières**

Les principales matières premières utilisées par l'entreprise sont :

- Une matière chimique appelée Polyéthylène Réticule Chimiquement (PRC) sous la forme de granulés ;
- L'aluminium sous la forme de fils de diamètre 9.5 mm ;
- Le cuivre sous la forme de fils de diamètre 8 mm ;
- Le bois.

Elle achète le cuivre des sociétés Turkey SARCUYSAN et Espagne TEKSEM, l'aluminium de la société de Bahrayn MIDALCABLE et d'une société Egyptienne et le PRC de plusieurs sociétés comme BOREALIS en Belgique, ASPPELL en France et PLASCOM en

Arabie Saoudite en plus de sociétés nationales. Quant au bois qui sert à la fabrication des tourets, il provient de l'entreprise ENAB de Skikda. (ENICAB, 2008)

## **II-6 Phases de fabrication**

Le processus de fabrication des câbles (de la matière primaire jusqu'au produit fini) passe par les phases successives suivantes :

### **II-6-1 Phase 1 : Tréfilage**

Réduction progressive (par allongement à froid) de la section du fils qui passe de 9.5 mm<sup>2</sup> à 0.15 mm pour le fil d'aluminium et de 8 mm à 0.15 mm pour celui de cuivre.

### **II-6-2 Phase 2 : assemblage (câble nu)**

Torsion en spirale d'un certain nombre de fils. Par exemple un câble moyen tension en aluminium nécessite 37 fils pour le câblage.

On remarque que ces deux premières phases concernent tous les types de câble et se font dans un atelier tréfilage câblage.

### **II-6-3 Phase 3 : Isolation**

Isolation des fils avec des matières chimiques (PRC.PRS.PVC) se fait selon le type de câble. Par exemple : isolation des câbles domestiques avec une couche d'isolation en PVC, utilisant une extrudeuse a vis.

### **II-6-4 Phase 4 : Assemblage (câble avec isolation)**

Câblage des fils déjà isolé au PRC pour fabriquer des câbles non unipolaires. La possibilité d'assemblage s'étend jusqu'à six conducteurs dont la section varie entre 10 mm<sup>2</sup> et 240 mm<sup>2</sup> selon le type de câble.

### **II-6-5 Phase 5 : Armure des câbles électriques**

Enveloppement des câbles par une couche de protection appelée écran et composée de trois couches : couche conductrice, couche en papier cuivre et couche en papier. (ENICAB, 2008)

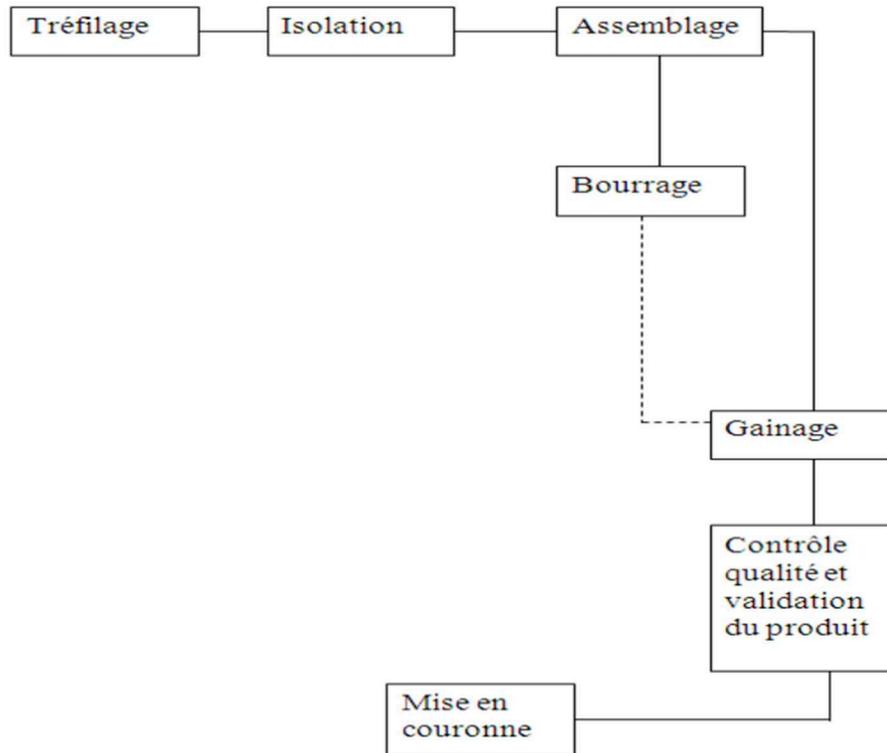


Figure 7 : Phases de fabrication du câble.

## II-7 Circuit de refroidissement à l'E.N.I.C.A.B

Le circuit de refroidissement à l'E.N.I.C.A.B comporte les ouvrages suivants : (figures de 8 à 11)

- Un bassin d'alimentation ; (Figure 8)
- Cinq échangeurs de chaleur à plaque ; (Figure 9)
- Deux cuves de stockage et de transfert ; (Figure 10)
- Un bassin d'eau refroidie ; (Figure 8)
- Dix pompes dont cinq sont fonctionnelles ;
- Six groupes frigorifiques. (Figure 11)



Figure 8 : Bassins des eaux chaudes et des eaux froides

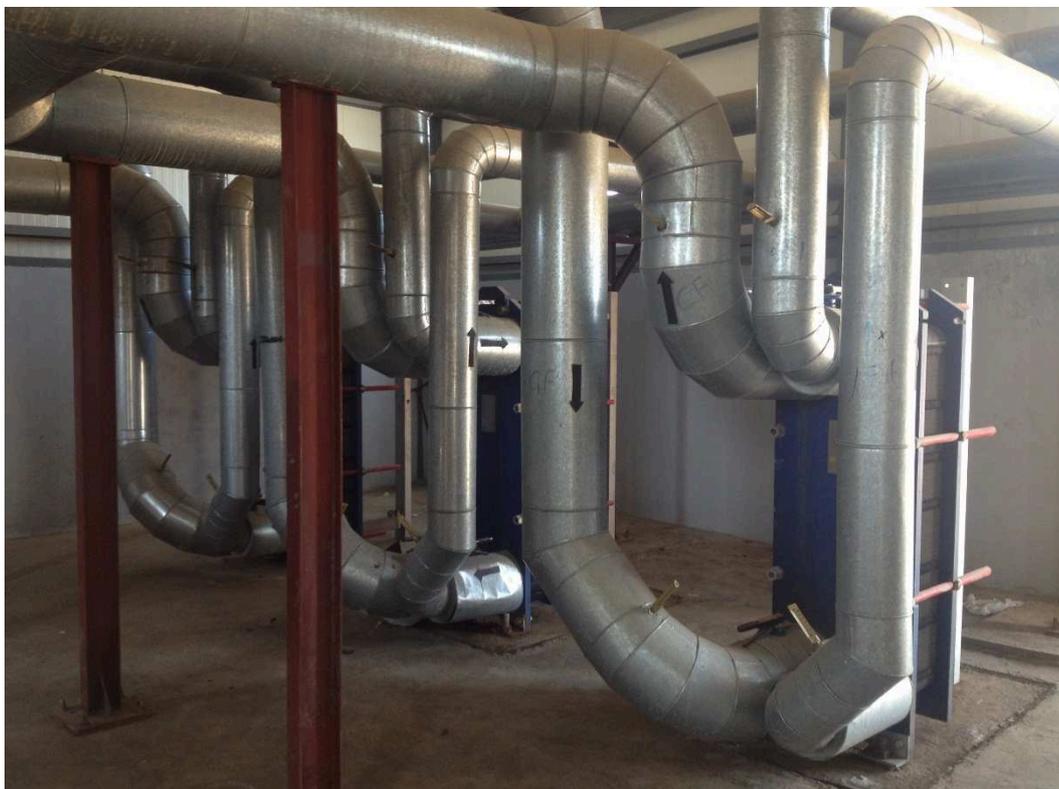


Figure 9 : L'échangeur de chaleur



*Figure 10 : Cuve*



*Figure 11 : Les groupes frigorifiques*

Le circuit fonctionne comme suit : (Figure 12)

- Du bassin d'alimentation, l'eau est envoyée vers l'échangeur de chaleur par l'intermédiaire de trois pompes à une température de 15°C ou et plus ;
- Après, l'échangeur, l'eau est transférée vers les groupes frigorifiques au nombre de 6 ;
- Puis le retour d'eau à une température de 10°C vers l'échangeur pour abaisser la température ;
- Une fois refroidie, l'eau passe au bassin d'eau froide avant le passage vers les unités de la station pour accomplir sa tâche proprement dit qui est le refroidissement des câbles produits et/ou les machines.

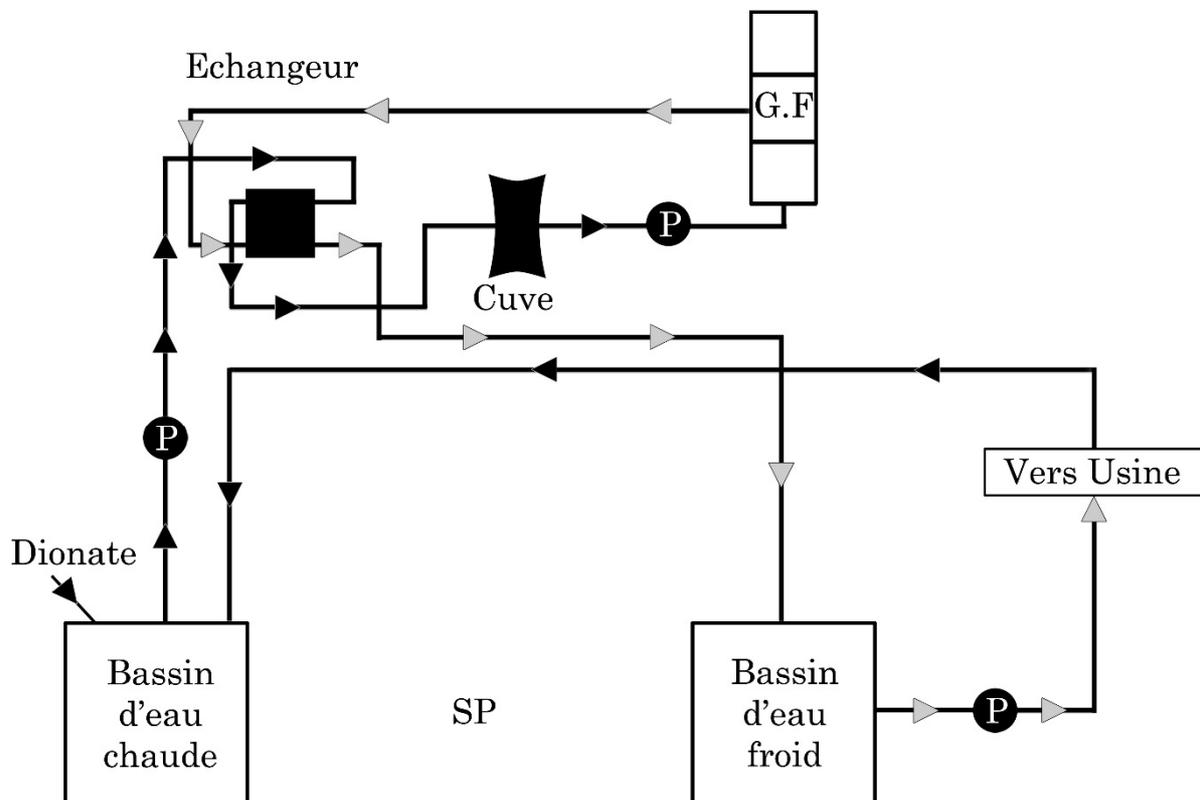


Figure 12 : Schéma simplifiée de circuit de l'ENICAB

## **II-8 Diagnostic de circuits de refroidissement à l'E.N.I.C.A.B**

Comme tous les circuits de refroidissement, celui de l'E.N.I.C.A.B 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 le cublen et les sulfates de zinc.

Le cublen utilisé à l'ENICAB est de type K60, HEDP, de formule chimique Hydroxyethane1, 1-diphosphoni acid. L'ajout de cublen sert à :

- Inhiber la corrosion ;
- Stabilise la dureté ;
- Disperser les tartres avant leur formation ;
- Garantir une stabilité hydrolytique.

De longues années d'expériences et d'essais ont montré que les procédés par électrolyse à anode active de zinc constituaient un mode traitement efficace contre le calcaire et la corrosion ainsi qu'indirectement contre les légionelles ou les proliférations algales. (Smet, 2009)

L'unité souffre également de l'insuffisance de l'eau dionate ce qui veut dire que généralement l'eau d'alimentation est l'eau de forage. Il est à noter qu'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-9 Conclusion**

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté l'Entreprise Nationale des Industries des Câbles de Biskra (E.N.I.C.A.B), les différents produits fabriqués par cette unité 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 que se manifestent en raison de la qualité des eaux d'alimentation.

CHAPITRE III

QUALITE DES EAUX DE  
REFROIDISSEMENT ET  
RESOLUTION DES PROBLEMES  
RENCONTRES

### **III-1 Introduction**

En plus du fait qu'elle refroidit l'unité en fonctionnement, l'eau en circulation peut aussi générer des actions, le plus souvent indésirables : 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 également 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.

Au cours de ce chapitre, nous allons présenter la qualité des eaux destinées à l'alimentation des tours de refroidissement à l'ENICAB, des analyses ont été effectuées dans l'entreprise et d'autres au niveau de l'université. Nous allons également évoquer les problèmes détectés au niveau du circuit de refroidissement et proposer des solutions convenables.

### **III-2 Qualité des eaux destinées à l'alimentation de circuit de refroidissement à l'ENICAB**

Les eaux qui alimentent les circuits de l'E.N.I.C.A.B, sont les eaux de forage existant au niveau de l'entreprise et l'eau déionisée (dionate). Les analyses physico-chimiques ont été effectuées sur trois types d'eaux qui sont les eaux de forages alimentant le circuit de refroidissement, les eaux de refroidissement (eau en circulation) et les eaux de diionate. Différents échantillons des trois types d'eaux ont été prélevés et analysés au niveau de l'ENICAB et au laboratoire de l'université. 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.

#### **III-2-1 Analyses effectuées à l'université**

##### **III-2-1-1 Méthodes d'analyses**

Les analyses des paramètres physico-chimiques tels que le pH, conductivité, chlorures, sulfates, dureté et TAC, des trois types d'eaux, ont été effectuées au laboratoire de département génie civil et hydraulique. Les méthodes d'analyses varient entre potentiométrique, volumétrique et spectrophotométrique.

Les méthodes d'analyse sont décrites par Rodier (1996) ou par les catalogues de l'appareillage employé :

- **PH** : Par méthode potentiométrique par l'intermédiaire d'un pH digital (OP211). L'étalonnage de l'appareil est effectué avant chaque série d'essais en utilisant les solutions tampons 4 et 9.

- **Conductivité** : par un conductimètre électrique de type WTW LF 315 qui donne des mesures en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et en  $\text{mS}/\text{cm}$ . L'étalonnage de cet appareil est effectué avant chaque série d'essais à l'aide des solutions tampons de conductivités connues.

- **La dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)**: par complexométrie à l'EDTA en présence de Noir Eriochrome T en milieu tamponné à  $\text{pH}=10$ .

- **Alcalinité** : Par acidimétrie par un acide fort  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en présence de méthyle orange.

- **Chlorures** : Par volumétrie en utilisant la méthode de Mohr.

- **Sulfates** : par méthode spectrophotométrique à une longueur d'onde de 420 nm

### III-2-1-2 Résultats d'analyses physico-chimiques

Les résultats d'analyses physico-chimiques des trois types d'eaux comparés aux normes des eaux de refroidissement, sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2 : analyses physico-chimiques des eaux de forage, de dionate et de refroidissement au laboratoire de l'université.

Paramètres	Eau de forage	Eau de dionate	Eau de refroidissement	Norme (KTK BGMH, 2015) (Duvivier, 2006)	
				sévère	tolérante
/	/	/	/	7.2	7 à 8,5
<b>PH</b>	6.98	7.90	7.99	7.2	7 à 8,5
<b>CE (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>	3870	34	3840	-	< 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
<b>Cl<sup>-</sup> (mg/l)</b>	741.96	15.38	784.15	30 ppm	< 250 mg/l
<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (mg/l)</b>	840	16	754	20 ppm	< 600 mg/l
<b>TH (méq/l)</b>	88.5	0	87.5	-	< 60 ° dH
<b>TAC (méq/l)</b>	3.86	0.24	3.94	115 ppm de CaCO <sub>3</sub>	-

En examinant le tableau 2, on peut remarquer que :

- La valeur de pH des eaux de forage est inférieure à la norme sévère et tolérante alors que celle des eaux dionate et eaux de refroidissement sont inférieures à la norme sévère mais conformes à la norme tolérante.

- Les valeurs de conductivité des eaux de forage et des eaux de refroidissement sont supérieures à la norme tolérante par contre celle des eaux dionate est conforme à la norme tolérante.
- Les teneurs en chlorures sont supérieures à la norme pour les eaux de forage et de refroidissement alors qu'elles sont conformes à la norme pour les eaux dionate.
- Concernant les teneurs en sulfates, elles sont supérieures à la norme pour les eaux de forage et de refroidissement alors qu'elles sont conformes à la norme pour les eaux dionate.
- Les valeurs de la dureté totale des eaux de forage et des eaux de refroidissement sont largement supérieures à la norme tolérante, par contre la dureté totale des eaux dionate est nulle.
- Les valeurs de titre alcalimétrique complet (TAC) des eaux de forage, des eaux de refroidissement dépassent largement les normes, alors les eaux de dionate sont conformes.

D'après les résultats d'analyses obtenues, on constate que :

- La qualité des eaux de forage et de refroidissement sont semblables.
- Les valeurs élevées des chlorures, sulfates et de la dureté totale ainsi que du TAC peuvent provoquer les dépôts, puisque  $TH > TAC$  et le  $pH < 8,3$  ce implique que la dureté permanente existe. Les dépôts seront sous de sulfate de calcium, sulfate de magnésium, chlorure de calcium ou chlorure de magnésium.
- Il apparaît que le pH de trois eaux est proche de la neutralité ce qui implique que l'acidité faible de l'eau est nulle.

### **III-2-2 Analyses effectuées à l'E.N.I.C.A.B**

#### **III-2-2-1 Méthodes d'analyses**

Les analyses des paramètres physico-chimiques tels que le pH, conductivité, chlorures, sulfates, dureté, phosphates, nitrates, nitrites, calcium, magnésium, taux de sels, salinité, résidu sec, cublen et TAC, des trois types d'eaux, ont été effectuées au laboratoire de département génie civil et hydraulique. Les méthodes d'analyses varient entre potentiométrique, volumétrique et spectrophotométrique.

- **PH, Conductivité, TDS, salinité** : Ces paramètres sont dosés par multi paramètre WTW Multi 3430. (*Figure 13*)



Figure 13 : Mesuré le pH, TDS, CE et Salinité

• **DOSAGE DES CHLORURES (Cl<sup>-</sup>)**

**Principe**

Réaction des ions chlorurés avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions d'argent et formation des chromates d'argent brun rouge avec d'ions de chromates qui ont été ajouté comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage.



Durant le titrage. Le pH est maintenu entre 5 et 9.5 afin de permettre la précipitation

**Réactifs :**

**1/Nitrates d'argent à 0. 1N**

Dissoudre 1.6987 g de nitrates d'argent dans 100ml d'eau distillait

**2/ Indicateur coloré K<sub>2</sub> CrO<sub>4</sub> à 10%**

Dissoudre 10g de chromates de potassium dans 100ml d'eau distillait

**Mode opératoire**

Prendre 100ml d'eau analyses

Ajouter 1 ml d'indicateur coloré K<sub>2</sub> CrO<sub>4</sub> à 10%

Le mélange se colore en jaune.

Titrer avec AgNO<sub>3</sub> à 0.1N jusqu'à coloration brun rougeâtre

La fin de la réaction est repérée par l'apparition de la teinte rouge brique du chromate d'argent.

### Expression des résultats

La concentration des Chlorures est obtenue à l'aide de la formule suivante :

A l'équivalence :  $C1V1 = C2V2$

Avec C1 et V1: concentration et volume du nitrate d'argent; C2: concentration en ions chlorure, V2 : volume de la prise d'essai.

$$C2 = C1V1 / V2 = 0.1 \times V1 / 100 = 0.001 \times V1 \text{ (mol/l)}$$

Masse molaire des ions chlorure Cl<sup>-</sup> : **35,5 g/mol** d'où une concentration massique C:

$$C = V1 \times 35.5 \text{ (mg/l)}$$

- **DOSAGE DES NITRITES NO<sub>2</sub><sup>-</sup>**

#### Principe

Les nitrites réagissent avec la sulfanilamide pour former un composé diazoïque qui après avec le (N-1) naphthéthylénediamine dichloride donne naissance à une coloration rose.

#### Réactifs

##### 1/Réactif mixte

20g de sulfanilamide (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S) à dissoudre dans 50ml acide phosphorique H<sub>3</sub> PO<sub>4</sub> (d=1.7g/ml 85%) et 250ml d'eau distillait dans cette solution dissoudre 1g de N-1naphthéthylénediamine (C<sub>12</sub>H<sub>16</sub>N<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>) compléter avec d'eau distillait dans une fiole à un volume 500ml cette solution est stable pendant 1mois si elle est gardée dans verre brun bien fermée et 4°C.

##### 3/solution mère 0.1g/l d'ions NO<sub>2</sub><sup>-</sup>

Dissoudre 0.492g de nitrites de sodium dans 1000ml d'eau distillait cette solution est stable pendant 1mois si elle est gardée dans verre brun bien fermée et 4°C

##### 4/solution fille 0.001g/l d'ions NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

Diluer la solution mère 0.1g/l d'ions NO<sub>2</sub><sup>-</sup> au 1/100ml préparer cette solution au moment de l'emploi.

**Courbe d'étalonnage :**

<b>Solution fille 1mg/l</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>20</b>	<b>40</b>
<b>eau distillait (ml)</b>	<b>50</b>	<b>49</b>	<b>47</b>	<b>45</b>	<b>30</b>	<b>10</b>
<b>Réactif mixte (ml)</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Attendre 10min</b>						
<b>[NO<sub>2</sub><sup>-</sup>] en mg/l</b>	<b>0</b>	<b>0.02</b>	<b>0.0</b>	<b>0.1</b>	<b>0.4</b>	<b>0.8</b>
			<b>4</b>			

**Appareillage**

Spectrophotomètre UV-VISIBLE

**Mode opératoire**

Dans une fiole prendre 50ml d'eau à analyser ajouter 1ml du réactif mixte et attendre 10min. Effectuer la lecture à 543nm

L'apparition de la coloration rose indique la présence de **NO<sub>2</sub><sup>-</sup>**

• **DOSAGE DES NITRATES NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**

**Principe :**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du prinitrosoylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

**Réactifs :**

**1/- Salicylate de sodium 0.5%**

Dissoudre 0.5g de salicylate de sodium dans 100ml d'eau distillait (renouvelée toutes les 24h)

**2/- Hydroxyde de sodium 30%**

Dissoudre 30g d'hydroxyde de sodium dans 100 ml d'eau distillait

**3/- Acide sulfurique pur 98%**

**4/- Tartrates double de sodium et de potassium**

Dissoudre 400g d'hydroxyde de sodium +60g de tartrate de sodium et de potassium dans 1000ml d'eau distillait (laisser refroidir avant de compléter à 1000ml, on peut conserver cette solution dans un flacon de polyéthylène).

**5/- Solution mère 1g/l d'ions NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**

Dissoudre 0.722g de nitrates de potassium anhydre dans 1000ml d'eau distillait 1ml de chloroforme.

**6/- Solution fille 5mg/l d'ions NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**

Diluer la solution mère 1g/l d'ions NO<sub>3</sub><sup>-</sup> au 0.5/100ml préparer cette solution au moment de l'emploi.

**Courbe d'étalonnage**

Dans une série de capsule de 60ml, introduire successivement

N° de capsule	b	1	2	3	4
solution fille 5mg/l	0	1	2	5	10
eau distillait (ml)	10	9	8	5	0
S salicylate de sodiums ml	5	5	5	5	5
[NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] en mg/l	0	0.5	1	2.5	5

**Appareillage**

Spectrophotomètre UV-VISIBLE.

**Mode opératoire**

Dans une capsule de 60ml prendre 10ml d'eau à analyser ajouté:

- 2 à 3 gouttes de NaOH 30%
- 1ml de salicylate de sodium

Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75-80C°.

(Ne pas surcharger ni surchauffer) laisser refroidir.

Reprendre le résidu avec 2ml H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> pur laissé reposer 10 min et ajouter:

- 15ml d'eau distillait
- 15ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectromètre au 420nm.

Puis complété jusqu'à 50 ml avec l'eau distillé.

L'apparition de la coloration jaune indique la présence de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

• **DETERMINATION DU DURETE TOTAL TH, DE CALCIUM Ca<sup>2+</sup> ET DE MAGNESIUM Mg<sup>2+</sup>**

**Principe**

On introduit une prise d'essai de volume connu d'eau à titrer dans une solution dont le pH est voisin de 9,2 grâce à l'usage d'une solution tampon. On ajoute alors du NET, le mélange prend une teinte rose violacée en raison de la formation [Ca (ind)]<sup>2+</sup> et [Mg (ind)]<sup>2+</sup>. On ajoute ensuite progressivement la solution titrante d'EDTA au mélange, à l'aide d'une burette. Il y a formation des complexes incolores [CaY]<sup>2-</sup> et [MgY]<sup>2-</sup> suivant l'équation :



En fin de dosage quand tous les ions calcium et magnésium sont complexés par l'EDTA, la solution devient bleue.

**Réactifs**

**Solution d'E.D.T.A N/50 (C<sub>10</sub> H<sub>14</sub> N<sub>2</sub> Na<sub>2</sub> O<sub>8</sub> 2H<sub>2</sub>O) (0,01mol/l)**

- EDTA ..... 3,725 g. après déshydratation à 80°C pendant 2 heures.
- H<sub>2</sub>O distillée..... q.s.p 1000 ml.

**Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 2 N**

- NaOH (pastilles) ..... 80 g.
- H<sub>2</sub>O distillée ..... q.s.p 1000 ml.

**Solution pH = 10,1**

- Chlorure d'ammonium ..... 67,5 g.
- NH<sub>4</sub>OH (25%)..... 432 ml
- H<sub>2</sub>O distillée ..... q.s.p 1000 ml.

**Noir eriochrome T**

- 0.5g de noir eriochrome T dans 100 ml Ethanol.

**HSN**

Murexide +

**Mode opératoire**

- TH**
- Prendre 10 ml d'eau à analyser.
  - 40 ml eau distillé
  - Ajouter 4 ml de solution tampon pH=10,1.
  - Ajouter quelques gouttes de noir eriochrome T.

- Et titrer avec l'E.D.T.A (0,02 N) jusqu'au virage (Bleu royale).

Pour la détermination de la dureté calcique le pH est rendu basique par une solution de soude (NaOH). Dans ces conditions, l'indicateur de fin de réaction (HSN), forme un complexe avec les ions de calcium de coloration rouge. Au fur et à mesure de l'ajout d'EDTA, les ions calcium se séparent du complexe avec l'indicateur coloré pour se complexer avec l'EDTA. La fin de réaction, se produit lorsque tout le calcium complexé par l'EDTA, est visualisé par l'indicateur devenu libre de couleur bleu clair

**Mode opératoire**

- Ca<sup>2+</sup>**
- Prendre 10 ml d'eau à analyser.
  - 40 ml eau distillé
  - Ajouter 2 ml de NaOH à 2 N.
  - HSN
  - Et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (bleu).

**Expression des résultats**

1/- La détermination de TH en F° degré français est donnée par la formule suivante:

A l'équivalence :  $C_1V_1 = C_2V_2$

Avec  $C_1$  et  $V_1$ : concentration et volume du EDTA;  $C_2$ : Dureté (calcium + magnésium),  
 $V_2$  : volume de la prise d'essai.

$$C_2 = C_1V_1 / V_2 = 0.01 \times V_1 / 10 = 0.001 \times V_1 \text{ (mol/l)}$$

$$C_2 = 0.001 \times V_1 \times M (\text{CaCO}_3) \times 1000 \text{ (mg/l CaCO}_3\text{)}$$

Avec :

$$M (\text{CaCO}_3) = 100\text{g/mol}$$

**Donc :**

D'où :

$V_1$  : Volume d'EDTA nécessaire pour le titrage de la dureté.

2/- La détermination du mg/l de calcium est donnée par la formule suivante:

A l'équivalence :  $C_1V_1 = C_2V_2$

Avec  $C_1$  et  $V_1$ : concentration et volume du EDTA;  $C_2$ : concentration de calcium,  
 $V_2$  : volume de la prise d'essai.

$$C_2 = C_1V_1 / V_2 = 0.01 \times V_1 / 10 = 0.001 \times V_1 \text{ (mol/l)}$$

Donc :

D'où :

$V_1$  : Volume d'EDTA nécessaire pour le titrage de calcium.

3/- La détermination du mg/l de Magnésium est donnée par la formule suivante:

$$[Mg^{2+}] = [TH] - [Ca^{2+}] \text{ (mol/l)}$$

$$[Mg^{2+}] = \{[TH] - [Ca^{2+}]\} \times 23.312 \text{ (mg/l)}$$

• **DOSAGE DES PHOSPHATES PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>**

**Principe**

Formation milieu en acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et tartrate double d'antimoine et de potassium, réduction par acide ascorbique en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption (l'une vers 700nm, l'autres plus important à 880nm).

**Réactifs**

**1/- Réactif mixte**

A/Dissoudre 13g d'hyptamolybdate d'ammonium dans 100ml d'eau distillait

B/Dissoudre 0.35g de tartrate d'antimoine dans 100ml d'eau distillait

C/Diluer 150ml d'acide sulfurique concentré avec 150ml d'eau distillait

Mélanger A+B+C = 500ml cette solution est **stable pendant 2mois si elle est gardée dans verre brun bien fermé et 4°C.**

**2/- Acide ascorbique**

Peser 10g d'acide ascorbique est dissoudre dans 100ml d'eau distillait cette réactif est stable pendons une semaine.

**3/- Solution mère 50mg/l d'ions PO<sub>4</sub><sup>3+</sup>**

Dissoudre 0.2197g de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>3+</sup> dans 800ml d'eau distillait +10ml d'acide sulfurique 20%est complète à 1000ml cette réactif est **stable pendons une semaine.**

**4/- Solution fille 2mg/l d'ions PO<sub>4</sub><sup>3+</sup>**

Diluer la solution mère 50mg/l d'ions PO<sub>4</sub><sup>3+</sup> au 20/500ml préparer cette solution au moment de l'emploi.

**Courbe d'étalonnage**

<b>Solution fille 1mg/l</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
<b>Eau distillait (ml)</b>	<b>40</b>	<b>38</b>	<b>36</b>	<b>34</b>	<b>32</b>	<b>30</b>
<b>Acide ascorbique (ml)</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Réactif mixte (ml)</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>Attendre 10min</b>						
<b>[PO<sub>4</sub><sup>3+</sup>] en mg/l</b>	<b>0</b>	<b>0.306</b>	<b>0.612</b>	<b>0.918</b>	<b>1.224</b>	<b>1.530</b>

**Appareillage**

Spectrophotomètre UV-VISIBLE (Shimadzu UV1800)

**Mode opératoire**

Dans une fiole prendre 40ml d'eau à analyser ajouter 1ml du acide ascorbique + 2ml du réactif mixte et compléter et attendre 10min. Effectuer la lecture à 880nm.

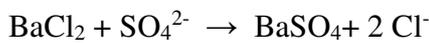
L'apparition de la coloration bleue indique la présence de  $PO_4^{3+}$ .

• **DETERMINATION DES SULFATES  $SO_4^{2-}$**

**Principe**

Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum

En présence de  $BaCl_2$ .



**Solution stabilisante**

Acide chlorhydrique (concentré) .....	60 ml.
Ethanol.....	200 ml.
Chlorure de sodium.....	150 g.
Glycérol.....	100 ml.
Eau distillée.....	Q.S.P. 1000 ml.

**Solution de chlorure de baryum**

Chlorure de baryum .....	150 g.
Acide chlorhydrique .....	5 ml.
Eau distillée .....	Q.S.P. 1000 ml.

**Gamme d'étalonnage**

Prendre 8 béchers de 250 ml.

Laver très bien avec du savon et une lavette.

Rincer abondamment avec l'eau du robinet.

Rincer avec une solution acide chlorhydrique

Rincer avec l'eau du robinet puis avec de l'eau distillée.

**Remarque**

-Les échantillons troubles ou colorés doivent être filtrés sur filtre de 0,45  $\mu m$ .

-Les échantillons qui contiennent plus de 70 mg/l  $SO_4^{2-}$  doivent être dilués avant détermination.

**Courbe d'étalonnage**

<b>N° Bécher</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>S mère à 1g/l</b>	<b>0</b>	<b>1 ml</b>	<b>2 ml</b>	<b>3 ml</b>	<b>4 ml</b>	<b>5 ml</b>	<b>6 ml</b>	<b>7 ml</b>
<b>Qsp eau distillé</b>	<b>100 ml</b>							
<b>S stabilisante</b>	<b>5 ml</b>							
<b>S chlorure de baryum</b>	<b>2 ml</b>							
<b>Agitation 1 mn.</b>								
<b>concentration finale mg/l SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>

Enregistrer la gamme dans le spectrophotomètre à la longueur d'onde  $\lambda = 420$ .

**Appareil**

Spectrophotomètre UV- Visible

**Mode opératoire**

Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée.

Ajouter 5 ml de la solution stabilisante.

Ajouter 2 ml de chlorure de baryum.

Agiter énergiquement pendant 1 min.

Passer au spectrophotomètre  $\lambda = 420$  nm.

**Expression des résultats**

$[\text{SO}_4^{2-}] \text{ mg/l} = \text{la valeur lue sur le spectrophotomètre} \times \text{facteur de la dilution.}$

Les résultats d'analyses physico-chimiques des trois types d'eaux comparés aux normes des eaux de refroidissement, sont présentés dans le tableau 3.

**III-2-2-2 Résultats d'analyses physico-chimiques**

Les résultats d'analyse physicochimique des trois types d'eaux effectuée au niveau de l'ENICAB, sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3 : analyses physico-chimiques des eaux de forage, de dionate et de refroidissement à l'ENICAB.

Paramètres	Eau de forage	Eau de dionate	Eau de refroidissement	Norme (KTK BGMH, 2015) (Duvivier, 2006)	
				sévère	tolérante
/	/	/	/		
PH	7.90	6.8	8.201	<b>7.2</b>	<b>7 à 8,5</b>
Conductivité μS/cm	3900	98.1	3950		<b>&lt; 3000 μS/cm</b>
Cl <sup>-</sup> mg/l	1153.75	67.45	844.9	<b>30 ppm</b>	<b>&lt; 250 mg/l</b>
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/l	0	-	5.589		
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/l	-	-	0.083		
Ca <sup>2+</sup> mg/l mgCaCO <sub>3</sub> /l	240.48 601.2	280.56 700	-	<b>70 ppm de CaCO<sub>3</sub></b>	<b>&gt; 20 mg/l</b>
Mg <sup>2+</sup> mg/l mgCaCO <sub>3</sub> /l	0.163 0.67	0.11656 0.45	-	<b>30 ppm de CaCO<sub>3</sub></b>	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	10.760	-	-		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	343.420	-	-	<b>20 ppm</b>	<b>&lt; 600 mg/l</b>
TDS mg/l	3910	98.1	-		
Salinité g/l	2.1	-	-		<b>&lt; 1800 mg/l</b>
Résidu sec à 180 °C mg/l	1948	-	-		
Cublen mg/l	-	-	54.272		
TH °F °dH	-	120 67.41	-		<b>&lt; 60 ° dH</b>
TAC mg/l mgCaCO <sub>3</sub> /l	-	53.68 40	-	<b>115 ppm de CaCO<sub>3</sub></b>	

- La valeur de pH des eaux de forage et des eaux de refroidissement, est conforme à la norme alors que celle des eaux dionate est inférieure à la norme sévère. 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 par contre celle des eaux dionate est conforme à la norme tolérante.
- Les teneurs en chlorures dépassent largement la norme pour les eaux de forage et de refroidissement alors qu'elles sont conformes à la norme pour les eaux dionate.
- 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 et celle des eaux dionates, sont supérieures à la norme ;
  - Le teneur en magnésium pour les différents eaux sont conformes à la norme ;
  - La valeur la dureté totale des eaux dionate dépasse la norme ;
  - La valeur de (TAC) pour les eaux de dionate est conforme à la norme.
  - La salinité des eaux de forage dépasse largement la norme de refroidissement ;

D'après les résultats d'analyses obtenues, nous pouvons conclure que les eaux de forage et celles de refroidissement sont de qualité médiocre en raison de la forte minéralisation et les valeurs de la dureté et l'alcalinité en plus de fortes 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-3 Problèmes détectés au niveau du circuit de refroidissement de l'ENICAB**

Le diagnostic du circuit de refroidissement de l'ENICAB a permis de détecter les anomalies suivantes :

#### **III-3-1 Insuffisance des eaux dionate**

Dans les conditions normales, les eaux qui alimentent le circuit de refroidissement de l'ENICAB, sont les eaux dionate. Ces eaux sont presque déminéralisées, elles sont conformes aux normes de refroidissement avec une conductivité comprise entre 34 et 98  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et des faibles teneurs en sels.

Malheureusement, ce n'est pas le cas tout le temps car dans la plupart du temps les eaux dionates sont insuffisantes car la grande quantité de ces eaux est consommée par le hall 5 (réticulation PRC) et ils seront obligés de les mélanger avec les eaux de forage dont la qualité est presque saumâtre. Un tel comportement va provoquer des divers problèmes dans le circuit de refroidissement tels que l'entartrage, la corrosion, la prolifération biologique et dégradation des matériaux du circuit.

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 nanofiltration et l'électrodialyse. (Figure 14)



Figure 14 : Modules d'osmose inverse

### **III-3-2 Absence des bassins de secoure**

Les bassins des eaux d'alimentation et des eaux refroidies, ne sont jamais vidangés ou nettoyés en raison de l'absence d'un bassin de secoure. Les bassins d'alimentation et ceux des eaux de refroidissement doivent être vidés et nettoyés pour éviter les phénomènes de corrosion, d'entartrage et la prolifération biologique.

### **III-3-3 Problèmes de corrosion, entartrage et 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. 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 internes des conduites, constitue une autre menace à ne pas négliger puisqu'elle peut aller jusqu'à des ruptures de circuits ou de canalisations. Bien souvent, le processus de calcification et de corrosion est tellement avancé quand il est détecté qu'un changement des canalisations est inévitable.

Des solutions existent qui permettent de se prémunir contre ces phénomènes. L'adoucissement de l'eau à l'aide de résines chimiques régénérées avec du sel est la plus connue. Efficace, elle nécessite cependant une maintenance suivie et une alimentation régulière en consommables qui peut être ressentie comme fastidieuse. Il existe également d'autres procédés physiques plus ou moins efficaces basés sur des antitartres électriques, électroniques ou magnétiques, qui consistent à transformer le calcaire incrustant en calcaire non incrustant. Mais outre qu'ils consomment de l'énergie, leur taux de conversion est souvent inférieur à 50% et leur efficacité limitée à une eau de 30°f de dureté.

Une autre solution basée sur une expérience de 20 années au niveau international et promue par des sociétés telles qu'Aquabion France est basée sur une réaction micro-électrolytique à anode active de zinc. (Smet, 2009).

### **III-4 Impact des eaux de refroidissement sur l'environnement**

L'impact de l'industrie sur l'environnement provient essentiellement de l'utilisation de l'eau dans les processus de fabrication et du déversement des effluents dans le milieu naturel. De nombreuses activités industrielles utilisent de grandes quantités d'eau pour la fabrication de leurs produits. L'industrie est responsable d'un peu plus de la moitié de la consommation d'eau en Europe. L'utilisation de l'eau à des fins industrielles augmente en fonction des revenus des pays. De 10 % dans les pays à faible revenu et à revenu moyen inférieur, elle passe à 59 % dans les pays à revenu élevé.

Généralement, les eaux de refroidissement contribue peu à la contamination chimique mais génère une pollution thermique définie par la modification de température du milieu le plus souvent à la hausse. En général, ce type de pollution, est causé par les mécanismes de refroidissement des industries qui se traduisent par des rejets d'eau chaude dans l'environnement. La pollution thermique diffuse peut avoir deux effets notables :

- Réduction de la quantité d'oxygène dissous dans les milieux aquatiques ;
- Augmentation de l'activité métabolique des microorganismes.

### **III-5 Conclusion**

La qualité des eaux de forage destinées à l'alimentation de circuit de refroidissement et les eaux 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 cublen et les sulfates de zinc sont ajoutés dans le circuit de refroidissement à l'ENICAB, peuvent réduire les dégâts. Toutefois, les eaux d'appoint doivent être déminéralisées et conformes aux normes de refroidissement.

# CONCLUSION GENERALE

# Conclusion générale

L'eau est principalement utilisée dans les processus de refroidissement ; ils représentent entre 70 et 80 % du volume d'eau consommé par l'industrie, la majorité de cette eau étant utilisée pour la production d'énergie électrique. L'industrie utilise généralement de l'eau de surface, même si la qualité de l'eau nécessaire dépend du type de produit. Par exemple, la qualité de l'eau de refroidissement peut être basse, mais la fabrication du papier et de la pâte exige une eau de meilleure qualité. Généralement, les eaux de refroidissement contribuent peu à la contamination mais génèrent une contamination thermique qui peut déséquilibrer le système environnemental.

L'objectif de notre étude a consisté à la 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 l'ENICAB, le système de refroidissement comporte deux bassins l'un pour les eaux d'appoint et l'autre pour les eaux refroidies avant, cinq échangeurs de chaleur à plaque, six groupes frigorifiques, dix pompes dont cinq sont fonctionnelles et deux cuves. Les résultats montrent également que la qualité des eaux de forage et des eaux de refroidissement, présente une forte dureté et une minéralisation très élevée. Cette qualité a affecté le circuit de refroidissement 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 le cublin et les sulfates de zinc.

L'unité souffre également de l'insuffisance de l'eau dionatée ce qui veut dire que généralement l'eau d'alimentation est l'eau de forage. Il est à noter qu'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.

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'installation des bassins de secours pour les bassins d'eau d'appoint et d'eau refroidie ;

- Minimiser les fuites par la réparation des joints ;
- L'ajout d'autres antientartrants plus puissants.

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

# Bibliographie

Bekhadouma. M A, Benali. M A, (2014). Amélioration de la qualité d'eau de refroidissement au sein de CP1/Z, Mémoire master, Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf d'Oran.

Duvivier. L, (2006). Traitement des eaux de refroidissement, Ed TEC & DOC, Paris.

Entreprise Nationale des Industries des Câbles de Biskra, 2008.

SUEZ, Environnement - industriels (2006). Comment réduire les impacts sur l'environnement.

XPAIR (2014). [www.xpair.com](http://www.xpair.com)

KTK KÜHLTURM KARLSRUHE GMBH (2015)

## Résumé

Les eaux de refroidissement sont largement utilisées dans la plupart de l'industrie des pays développés notamment dans les centrales électriques thermiques ou nucléaires, dans la sidérurgie et dans l'industrie chimique et pétrochimique. Le circuit de refroidissement dans l'E.N.I.C.A.Biskra est de type fermé, sert à refroidir les câbles produits ainsi que les machines de fabrication. La qualité des eaux alimentant le circuit de refroidissement semble médiocre car ces eaux sont caractérisées par une forte minéralisation, une dureté et alcalinité qui dépassent largement les normes de refroidissement. 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 bactéries et des algues. Pour minimiser ses problèmes l'ajout d'autres anticorrosant et antientartrant s'avère nécessaire en plus de ceux utilisés à l'ENICAB tels que le cublen et le sulfate de zinc.

**Mots clés :** circuit de refroidissement, corrosion, entartage, inhibiteur, Prolifération biologique, traitement.

### ملخص :

تستعمل مياه التبريد في الكثير من الصناعات في الدول المتقدمة خاصة في محطات توليد الطاقة الحرارية أو النووية، صناعة الفولاذ، والصناعة الكيميائية والبتروكيميائية. نظام التبريد في المؤسسة الوطنية لصناعة الكوابل ببسكرة من نوع الحلقة المغلقة ويعمل على تبريد الكوابل المصنعة وتبريد آلات التصنيع. تتسم المياه التي تزود نظام التبريد بنوعية رديئة بسبب التمدن العالي والعسر الكبير الذي تجاوز كثيرا معايير التبريد. خلفت هذه المياه مشاكل عدة لنظام التبريد منها توضع الرواسب (الجير) ، تآكل القنوات وتكاثر البكتيريا والطحالب. للتقليل من هذه المشاكل يجب إضافة مثبتات توضع الرواسب والتآكل مع تلك المثبتات المضافة في المؤسسة مثل كوبلان وسلفات الزنك.

**كلمات مفتاحية :** نظام التبريد، تآكل، توضع الرواسب، مثبتات، تكاثر بيولوجي، معالجة.