

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE OUARGLA



Faculté des sciences et des sciences de l'ingénieur
département des sciences de l'ingénieur

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT

Spécialité : Chimie industrielle

Option : Génie des procédés

Présenté par :

- BENCHAOUI Mourad

Thème

**CONTRIBUTION A ETUDE DU PHENOMENE D'ENTARTRAGE
DES CIRCUITS DU REFROIDISSEUR DE LA VILLE DE
TOUGGOURT**

Soutenu publiquement devant le jury :

Mr. A. BEBBA	MACC	U. Ouargla	President
Mr. A. MESSAÏTFA	M/C	U. Ouargla	Examineur
Mr. M ^{ed} . SEKRIFA	MA	U. Ouargla	Examineur
Mr. B. BOUCHEKIMA	MACC	U. Ouargla	Encadreur

Année Universitaire 2001/2002

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
CHAPITRE1 : ETUDE DU TARTRE	
1.Définition	4
1.1 Aspect thermodynamique.....	4
1.2 Aspect cinétique.....	6
2. Différents types de tartres.....	7
2.1 Tartre alcalin.....	7
2.2 Tartre non alcalin.....	8
2.3 Autres types de tartres.....	8
3. Inhibition et modification du tartre.....	9
3.1 Inhibiteur chimique.....	10
3.2 Classification des différentes familles d'inhibiteurs.....	10
3.3 L'effet de seuil.....	12
3.4 Les sels de zinc et de cuivre	13
3.5 Effet dispersant.....	13
4. Facteurs influençant sur l'entartrage.....	14
4.1 Entartrage et dureté de l'eau.....	14
4.2 Entartrage alcalinité totale (TA).....	14
4.3 Entartrage et titre hydrométrique (TH).....	16

4.4 Indices d'entartrage.....	17
4.5 Produit de solubilité.....	19
5. Conséquences.....	20

CHAPITRE 2 : ETUDE THERMIQUE

1.Echanges thermiques dans une tour de réfrigération.....	22
1.1Caractérisation des fluides.....	22
1.2.Equations régissant les échanges thermiques dans une tour de réfrigération. .	22
1.2.1.Mécanisme de transfert thermique dans une tour de réfrigération.....	23
1.2.2 Equation régissant les échanges thermiques.....	25
2.Mise en évidence des mécanismes du CaCO_3 dans une tour de réfrigération	26
3.Influence de la formation des dépôts sur le fonctionnement d'une tour de réfrigération.....	26

CHAPITRE 3 :PROCEDES UTILISES POUR ELIMINER LE TARTRE

1.Procédés utilisés pour éliminer le tartre.....	29
1.1.Les procédés chimiques.....	29
A.La Décarbonatation.....	29
B. Déminéralisation sur échangeur d'ions.....	31
C.Adoucissement par échange d'ions.....	32
1.2 Les procédés physiques.....	34
A.L'adoucissement électrochimique.....	34
B.La génération des ondes électromagnétiques de moyennes fréquences..	36
C.Microélectrolyse de l'eau.....	36
D.Appareil des ALPHA 2.....	37
E. Aimants permanents.....	37

CHAPITRE 4 : ETUDE EXPERIMENTALE

1.Introduction.....	39
2.Appareillage.....	39
3.Techniques de mesures.....	40
3.1 Mesures de pH.....	40
3.2 Mesures de TH, TH _{Ca} , TH _{Mg} , TA, TAC, Cl ⁻	40
3.3 Détermination de la dureté.....	42
3.4 Titre alcalimétrique complet (TAC).....	42
3.5 Titre alcalimétrique (TA).....	43
3.6 Dureté calcique.....	43
3.7 Chlorures.....	44
4.Resultats et interpretation.....	44
4.1 Caractéristique chimiques des eaux.....	44
4.1.1 Analyse de l'eau.....	45
4.1.2 Analyse de dépôt	51
4.1.3. Influence de l'entartrage sur le transfert thermique.....	52
Conclusion générale et recommandation	55

Annexes

Bibliographie

NOMENCLATURE

a :Surface de contact entre l'air et l'eau	[m ²]
C_{PA} :Chaleur massique de l'air,	[J/Kg.K]
C_{Pe} : Chaleur massique à pression constante de l'eau liquide	[J/Kg.k]
C_{PL} :Chaleur massique du liquide	[J/Kg .K]
d_{Ha} :variation d'enthalpie de l'air	[KJ/Kg]
H_V : l'enthalpie de vapeur	[joule]
k_G :Coefficient de transfert thermique coté gaz	[W/m ² .°C]
k_L :Coefficient de transfert thermique coté liquide	[W/m.°C]
kv : Coefficient de transfert thermique coté vapeur	[W/m.°C]
q :température de l'eau	[°C]
q_A :débit gazeux	[L/h]
q_E : débit liquide volumique	[L/h]
q_L : débit liquide	[L/h]
q'_{ma} : débit massique d'air	[Kg/h]
q'_{me} : débit massique de liquide	[Kg/h]
θ_A : température de l'air	[°C]
θ_E : température de liquide	[°C]
θ_f : température à l'interface L/G	[°C]
θ_L : température du liquide	[°C]
x :Le rapport de mélange ou humidité absolue	[]

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Le risque majeur d'entartrage des circuits de refroidissement par du carbonate de calcium a souvent été considéré comme localisé et limité aux tubes de condenseurs et d'échangeurs.

La précipitation du carbonate de calcium contenu dans l'eau à partir de 60°C, et la formation des dépôts compacts sont très adhérents au contact des parois des conteneurs que l'on désigne classiquement par tartre ont des résultats néfastes sur le fonctionnement des installations industrielles, et graves conséquences techniques et économiques à savoir:

- Bouchage des canalisations et invasion par le tartre des systèmes de production d'eau chaude (chaudières, échangeurs).

L'étude de l'entartrage des corps d'échange dans les réfrigérants industriels amène à analyser la nature des dépôts formés, constitués essentiellement de carbonate de calcium , et d'argiles ainsi que d'autres matériaux présents dans les eaux naturelles .

C'est le CaCO_3 qui se dépose le premier formant ainsi une couche de tartre qui facilite la rétention des matières en suspension présentes dans l'eau. Le tartre en continuant à se former, joue le rôle de ciment rendant les dépôts plus ou moins compacts et adhérents.

Les puits albiens de la région de Touggourt débitent une eau géothermale avec une moyenne de 200L/s .

Cette eau est caractérisée par une légère salinité , une température qui avoisine les 60°C au niveau de la source ; c'est ce qui favorise la formation de dépôts de tartre dans les circuits du refroidisseur augmentant ainsi la part de charge en relation directe avec des dépenses énormes pour remplacer ces circuits et conduites lorsqu'ils sont complètement obstrués.

Etude du phénomène d'entartrage des circuits du refroidisseur de la ville de Touggourt

L'objectif de ce travail est l'étude du phénomène d'entartrage des circuits du refroidissement de la ville de Touggourt durant la période de fonctionnement du refroidisseur et analyser l'eau d'albien qui alimenté le refroidisseur de Touggourt, et analyser le dépôt de tartre qui précipité dans les circuits de refroidissement ,et influence sur le transfert thermique causés par la formation de tartre en vue de trouver un moyen fiable et efficace de prévention et de lutte contre ce phénomène.

CHAPITRE 1
ETUDE DU TARTRE

CHAPITRE 1

ETUDE DU TARTRE

1. Définition.

Le tartre est la formation d'une couche de substances insolubles qui, véhiculées par l'eau, sont susceptibles de former des dépôts au contact des parois des conteneurs.

Les matières qui cristallisent plus ou moins correctement au contact de ces parois, donnent lieu à des revêtements mécaniquement résistants, très adhérents et quelques fois très durs. Ces revêtements que l'on appelle tartre, causent le bouchage des tubes, qui provoque ainsi une perte de charge importante. En effet les tartres réduisent les sections des passages, dégradent les états de surface et augmentent à débit constant les pertes de charge et par conséquent les dépenses énergétiques liées à la circulation de l'eau.

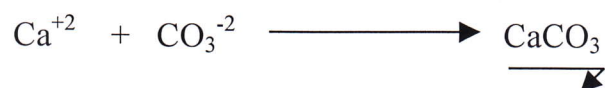
L'entartrage est défini comme étant un dépôt cristallin qui adhère plus ou moins bien en fonction de sa stabilité aux surfaces thermiques. Il s'agit essentiellement de sels de Calcium et de Magnésium.

Ce phénomène peut se manifester :

- A l'intérieur des chaudières
- Lors de l'utilisation de l'eau sur les réseaux de distribution.
- Dans les circuits de refroidissement et plus spécialement dans les échangeurs de chaleur.

1.1. Aspect thermodynamique [1]

Les tartres qui apparaissent sont composés essentiellement de carbonate de calcium « CaCO_3 » qui peuvent apparaître dans l'eau. Les réactions chimiques principales donne la formation de « Ca CO_3 » si :

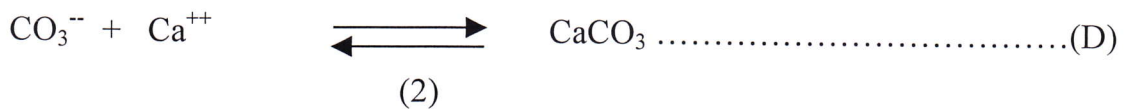
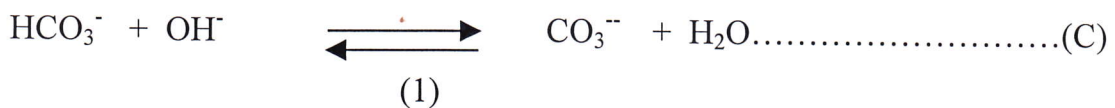
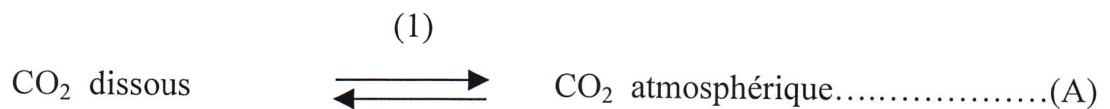


Toutes les eaux contiennent du calcium sous forme d'ions Ca^{++} mais la plupart ne contiennent que des quantités très limitées d'ions CO_3^{2-} .

Le transport de l'eau dans un réseau risque d'entraîner la production d'ions CO_3^{2-} par action des ions OH^- sur les ions hydrogencarbonatés selon la réaction :



En effet, les ions OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- interviennent avec le CO_2 dissous dans des équilibres chimiques :



Toute modification de l'un entraîne le changement des autres.

Si par exemple on provoque le dégazage de l'eau par agitation, l'équilibre (A) tend à s'établir par déplacement dans le sens (1), en conséquence l'équilibre (B) sera déplacé dans le sens (2) ; ce qui entraîne une baisse de la concentration en ions H^+ , cela revient à dire que l'on augmente le pH de l'eau : si l'on augmente le pH de l'eau, la quantité d'ion OH^- augmente et l'équilibre (C) est déplacé dans le sens (1), il y a donc production d'ions CO_3^{2-} .

Enfin l'équilibre (D) est déplacé dans le sens de la production du CaCO_3 solide.

1.2. Aspect cinétique [1]

Pour que le carbonate de calcium apparaisse de manière irréversible au sein d'une phase liquide, il est nécessaire qu'une germination soit d'abord possible ; puis qu'elle soit suivie d'une phase de croissance dans le processus de formation de ces germes : tout commence par l'agglomération d'ions hydratés CO_3^{--} et Ca^{++} , ces paires d'ions vont se grouper pour donner des germes colloïdaux qui pourront grossir tout en ayant une tendance à se déshydrater de plus en plus pour donner en phase ultime un cristal qui peut ensuite avoir sa propre croissance.

Comme on l'a déjà signalé, pour qu'une germination se produise, il faut que la réaction :



Soit thermodynamiquement possible pour cela il faut que :

$$[\text{Ca}^{++}] [\text{CO}_3^{--}] > K_s$$

$[\text{Ca}^{++}]$: concentration de l'eau en ions calcium.

$[\text{CO}_3^{--}]$: concentration de l'eau en ions carbonates.

K_s : produit de solubilité correspondant.

Dans un circuit d'eau, on peut écrire en tout point de ce circuit :

$$[\text{Ca}^{++}] [\text{CO}_3^{--}] = \delta K_s$$

ou δ est le coefficient de sursaturation local de l'eau. En effet trois cas peuvent se présenter en un point :

$\delta < 1$: l'eau est localement agressive

$\delta = 1$: l'eau est localement à l'équilibre.

$\delta > 1$: l'eau est thermodynamiquement susceptible de précipiter localement le CaCO_3 selon le processus de germination croissante citée auparavant.

Les germes de CaCO_3 produit peuvent avoir des évolutions variées :

- Le germe va croître et régresser puis redissoudre.
- Le germe va croître et évoluer vers un cristal. On va alors vers un phénomène de précipitation générateur de boues.
- Le germe va être produit au niveau d'une paroi métallique. On sera dans un processus d'entartrage, si la liaison avec la paroi est suffisamment forte.
- Le germe va rester en suspension dans l'eau et être entraîné par l'écoulement.

2. Différents types de Tartres [2]

L'analyse de tartre provenant du circuit de refroidissement ou des chaudières et même dans les installations industrielles montre la présence de plusieurs composants.

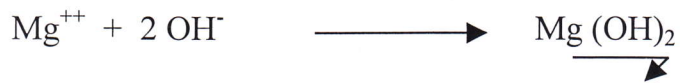
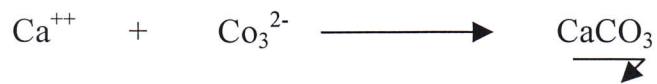
Parmi les composants fondamentaux qui forment le tartre l'ion bicarbonate (HCO_3^-), l'ion carbonique (CO_3^{2-}), l'ion calcium (Ca^{++}), l'ion magnésium (Mg^{++}) et les sulfates. Généralement il y a deux types de tartre.

2.1. Tartre alcalin

Le tartre alcalin est dû principalement à la présence de carbonate et d'hydroxydes, résultant de la décomposition thermique de l'ion bicarbonate (HCO_3^-).



L'élévation de la température provoque l'élimination du CO_2 donc obligatoirement la formation d'ions CO_3^{2-} , le carbonate de calcium et l'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) se forment, lorsque les ions de calcium, de magnésium et les ions de carbonates et hydroxyde contenus dans l'eau saline nous donne respectivement :



La formation du carbonate de calcium solide est maximale aux alentours de 60°C, cela se traduit par une nette diminution de la concentration des ions Ca^{++} en solution, en effet les bicarbonates se transforment en carbonates moins solubles. Au delà de cette température, le solide alcalin commence à disparaître pour céder la place à un autre dépôt de tartre alcalin, l'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) entre 90- 100°C . Donc, le degré de formation des ces deux mélanges dépend de la concentration de bicarbonate et de la température de travail (circuit).

2.2. Tartre non alcalin

Le type de tartre non alcalin le plus important est composé essentiellement de sulfates et surtout de sulfates de calcium (Ca SO_4).

Il commence à apparaître d'une façon nette à partir de 100°C. Le sulfate de calcium peut se présenter sous plusieurs formes : dans la nature, il existe trois formes :

- l'anhydride (CaSO_4)
- l'hymydrate ($\text{CaSO}_4, \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$)
- le dihydrate ($\text{CaSO}_4, 2 \text{H}_2\text{O}$)

les trois formes sont beaucoup plus solubles que le carbonate de calcium et l'hydroxyde de magnésium. Donc, ces tartres ne se forment que dans le cas où la solution serait sursaturée en sulfate de calcium à des température élevées.

2.3. Autres types de tartres

Il existe d'autres types de tartre:

2.3.1. L'oxyde de fer et de cuivre

Ce type est rencontré généralement dans le cas où un acide est utilisé pour le traitement de l'eau ; la corrosion des composants cuivreux et ferreux de l'installation, amène souvent des oxydes de fer et de cuivre à se former dans les tubes.

2.3.2. Silicates

La silice et le silicate de calcium et de magnésium sont insolubles ; ces tartres ne se manifestent que pour une eau ayant une concentration élevée.

3. Inhibition et modification du tartre [3]

La lutte contre ce phénomène consiste donc à rechercher des méthodes de prévention, soit en agissant sur les causes ; c'est à dire en éliminant les ions à partir desquels le tartre peut se former, et cela n'est pas possible, il faut alors essayer de retarder le phénomène de germination, ou de diminuer la vitesse de croissance des cristaux.

Ces inhibiteurs sont ajoutés physiquement pour contrôler la vitesse de cristallisation ou pour modifier la morphologie des cristaux. Ces additifs peuvent agir pour éliminer la formation cristalline du tartre par l'un des divers moyens existant et pouvant changer le potentiel chimique précipitant, en affectant la formation complète et l'adsorption.

Ces additifs peuvent aussi former un film sur la surface du métal en éliminant les sites possibles pour cette adhérence, ils peuvent adsorber les cristaux en croissance. Ils peuvent aussi déformer ou inhiber d'autres formations des cristaux. Il est clair que les caractéristiques d'adsorption des inhibiteurs sont d'une grande importance pour établir un mécanisme de contrôle pour un inhibiteur.

L'effet des inhibiteurs est connu depuis longtemps, les mécanismes réactionnels mis en jeu, sont restés jusqu'à présent assez flous. La recherche de nouveaux inhibiteurs reste encore une démarche marquée d'un empirisme certain. Et c'est pour cela qu'il est important de spécifier le type d'installation, la nature de l'eau utilisée et d'une

façon générale les conditions dans lesquelles l'efficacité d'un inhibiteur peut être appréciée.

Plusieurs types d'inhibiteurs d'entartrage, qu'ils soient minéraux ou organiques, ont prouvé leur efficacité et sont déjà commercialisés.

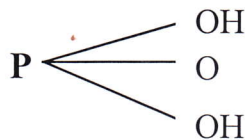
3.1. Inhibiteur chimique

L'injection des agents chimiques, qui, à l'inverse des acides, ne sont utilisés que par quantités très petites, permet de descendre le taux de formation de tartre ou de l'empêcher totalement ; ces agents sont des combinaisons multi-fonctionnelles capables de traiter l'eau et répondre à l'ensemble des problèmes posés.

3.2. Classification des différentes familles d'inhibiteurs

La plupart de ces produits peuvent se regrouper en familles ayant un groupement ou une architecture comme par exemple à la base des propriétés tartrefuges.

- **Les organophosphates** : caractérisés par un ou plusieurs groupements



Associés à un radical organique, ces produits manifestent une susceptibilité moindre à l'hydrolyse. Les organophosphates sont utilisés sous forme d'acide ou sous forme totalement ou partiellement salifiée, en général par Na^+ , K^+ , NH_4^+ , un grand nombre de ces composés possède un pouvoir tartrifuge vis à vis des carbonates de calcium, c'est ainsi que FLEZCH et NEWMAN donnent pour un certain nombre de ces composés les concentrations seuil. (Tableau N°1)

Tableau N°1. Récapitulatif des effets inhibiteurs des différents composés de phosphore

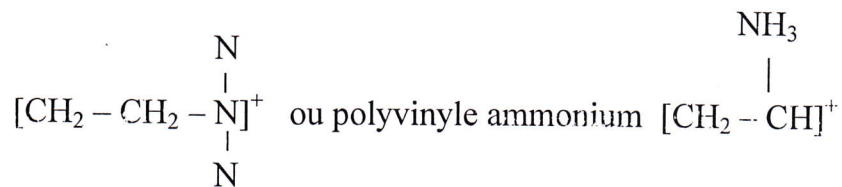
Inhibiteur	Concentration Seuil
Glycophate	10^{-3} à 10^{-4} mol/L
ADP (Adinozme di phosphate)	10^{-4} à 10^{-5} mol/L
ATP (Adinozme tri phosphate)	10^{-3} à 10^{-4} mol/L
Trimetaphosphate	10^{-4} à 10^{-5} mol/L
Pyrophosphate	10^{-5} à 10^{-6} mol/L
Hexametaphosphate	Inférieur à 10^{-7} mol/L
Thiaminepyrophosphate	10^{-6} à 10^{-7} mol/L
Tripolyphosphate	10^{-6} à 10^{-7} mol/L
Longue chaîne de polyphosphate	Inférieur à 10^{-7} mol/L

• **Les polyélectrolytes**

Un certain nombre de macromolécules qui sont utilisées en traitement des eaux comme flocculants, présentent aussi des propriétés tartrefuges ; on peut distinguer :

- ❖ Les polycationiques dont les plus utilisés correspondent à des composés ammonium quaternaire :

➤ Les polyéthylanimines ;



- Les polyanioniques qui sont des polyacides carboxyliques ou sulfoniques citons les : polyacryliques $[CH_2 - CHCOO]_n$, polymétacryliques $[CH_2 - C - CH_3 - COO]_n$

- Polyvinyle sulfonique $[CH_2 - CH - CH_2 - CH]_n$

$$\begin{array}{c} | \\ NH_3 - C = O \end{array}$$

Aussi des copolymères acrylamide – acrylate $[CH_2 - C - CH_2 - CH]_n$

$$\begin{array}{cc} | & | \\ CN & COOH \end{array}$$

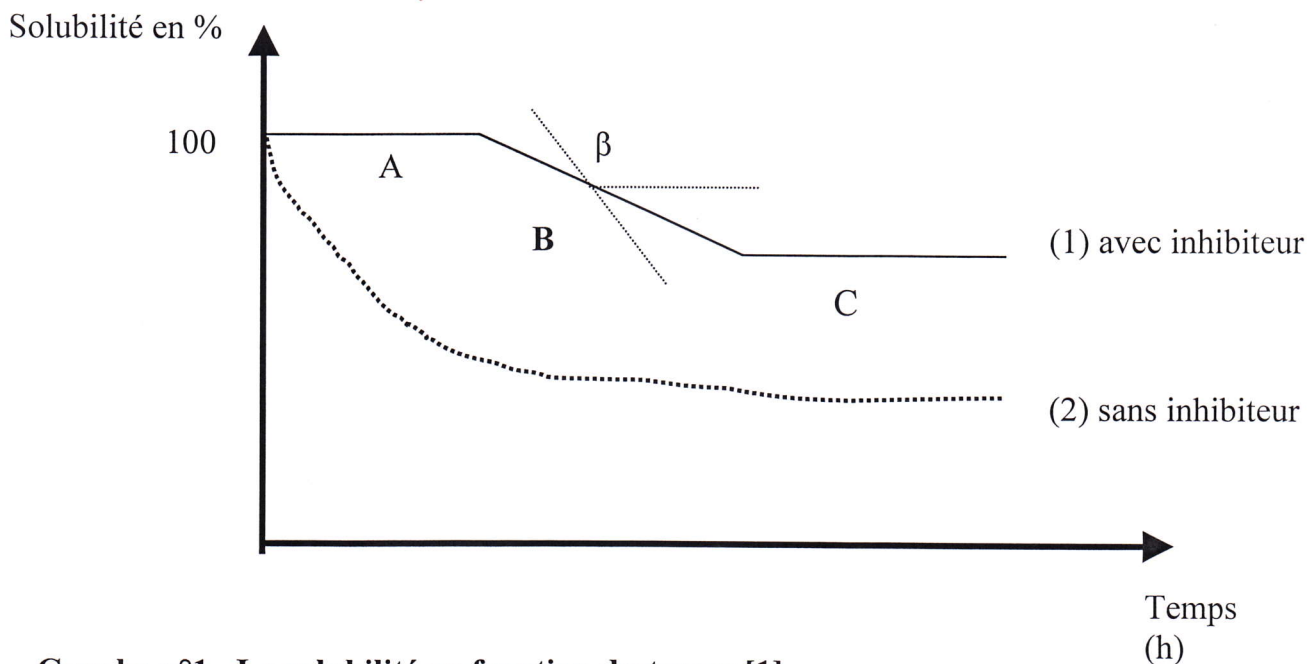
Acrylontrite – acrylates $[CH_2 - CH]_n$

$$\begin{array}{c} | \\ SO_3^- \end{array}$$

3.3. L'effet de seuil [1]

Des doses infinitésimales (quelques g/m^3) ont la propriété de retarder la précipitation des sels insolubles $CaSO_4$, $CaCO_3$, et $Mg(OH)_2$.

Dans la précipitation, on distingue trois périodes distinctes comme le montre le Graphe n° 1 ,ci dissous :



Graphe n°1 . La solubilité en fonction du temps [1]

A : C'est la période de latence dite de germination ; les inhibiteurs les plus efficaces allongent cette période de latence et retardent la précipitation au-delà du temps de séjour dans les installations industrielles. Ces effets de seuil sont spectaculaires avec les acides phosphoriques et carboxyliques sur le sulfate de calcium.

B : C'est la période de croissance des cristaux, les inhibiteurs influent également sur cette période en diminuant la vitesse de croissance.

C : C'est l'équilibre de précipitation sous l'influence d'un inhibiteur ; le niveau d'équilibre sera notamment supérieur au niveau d'équilibre atteint sans inhibiteur et correspondant au produit de solubilité.

3.4. Les sels de Zinc et de Cuivre

Les diverses observations parfois très anciennes ont permis de supposer que les ions Zinc et Cuivre pouvaient jouer un rôle inhibiteur dans le phénomène d'entartrage. Quelle que soit la famille à laquelle appartiennent ces tartrefuges, ils ne sont généralement pas utilisés seuls, mais le plus souvent inclus dans des formulations complexes associées.

Des dispersants, des détergents des biocides ou même des produits anti – corrosion à un ou plusieurs tartrefuges qui ne représentent de ce fait qu' une fraction de la masse totale du produit.

3.5. Effet dispersant

L'effet dispersant concerne principalement la partie carboxylique pour un certain nombre de sels particulièrement insolubles ; le phosphate trissodique, l'hydroxyde de magnésium ou de carbonate de calcium. Il est pratiquement impossible de retarder le seuil de précipitation surtout à température élevée, et l'on doit s'attacher davantage à modifier la cristallisation afin de rendre ces sels moins incrustants.

Les acides phosphoriques et carboxyliques ont la propriété d'absorber sur les sites actifs des premiers cristaux qui apparaissent, perturbant ainsi les édifices cristallins dans leur développement.

Les précipités ainsi obtenus sont des variétés amorphes et ont un caractère incrustant très affaibli, tout en demeurant suffisamment fluidifiés pour être évacués dans la saumure sortant et ne pas constituer des boues au fond des évaporateurs.

4. Facteurs influençant sur l'entartrage

4.1. Entartrage et dureté de l'eau [4]

Les eaux naturelles ont des compositions très différentes, et chaque type d'eau contient des concentrations plus ou moins élevées en sels de métaux alcalino-terreux, calcium et magnésium qui donnent à l'eau sa dureté.

Il en résulte des propriétés gênantes : possibilité de former des dépôts durs et très adhérents dans les installations industrielles ou de distributions. Nous distinguons trois types de dureté :

1)-Dureté temporaire

La dureté temporaire comprend les carbonates et les bicarbonates de calcium et de magnésium présents dans l'eau . [5]

2)- Dureté totale

La dureté totale englobe la teneur en sel de calcium et de magnésium contenue dans l'eau , elle s'exprime en degrés (°F)($1^{\circ}\text{F} \rightarrow 1/5\text{még/L}$) et est égale à la somme de dureté temporaire et dureté permanente.

3)-Dureté permanente

Elle correspond aux ions Ca^{++} et /ou Mg^{++} liés aux anions étrangers est égale à :

TH permanente = TH – TH temporaire

4.2. Entartrage et alcalinité totale (TA)

Alcalinité : Titre alcalimétrique

Principe :

L'alcalinité est déterminée par titration avec un acide fort. Elle est due à un grand nombre d'ions différents parmi lesquels les plus courants sont :

- les bases libres (ions OH⁻)
- les bicarbonates (ions HCO₃⁻)
- les carbonates (ions CO₃²⁻)

Lorsque les eaux contiennent des sels de calcium et de magnésium elles sont dites dures, il en résulte des propriétés gênantes avec possibilité de former des dépôts durs par chauffage.

Si le TA et le TAC sont égaux, toute l'alcalinité est due aux hydroxydes. Si le TA est inférieur au TAC, des carbonates et des hydroxydes sont présents, ce qui explique :

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + \frac{1}{2} [\text{CO}_3^{2-}]$$

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

$$[\text{OH}^-] = 2 \text{ TA} - \text{TAC}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = 2 (\text{TAC} - \text{TA})$$

Si le TA est égal à la moitié du TAC, toute l'alcalinité est due au carbonates.

Si le TA est inférieur à la moitié du TAC, des carbonates et bicarbonates sont présents, ce qui explique :

$$[\text{CO}_3^{2-}] = 2 \text{ TA}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = \text{TAC} - 2\text{TA}$$

Si le TA est nul, le TAC est dû aux bicarbonates seuls voire le tableau n°2 :

Tableau n°2 . la relation entre TA et TAC [2]

si	[OH ⁻]	[CO ₃ ²⁻]	[HCO ₃ ⁻]
TA = TAC	TAC	0	0
TA > ½ TAC	2TA – TAC	2(TAC – TA)	0
TA < ½ TAC	0	2TA	TAC - 2TA
TA = ½ TAC	0	TAC	0
TA = 0	0	0	TAC

4.3. Entartrage et titre hydrométrique (TH)

Cinq titres hydrométriques différents peuvent être définis :

- Le TH ou titre hydrométrique : il correspond à la totalité des ions.
- Le TH calcique : il correspond à la teneur globale en sels de calcium.
- Le TH magnésium : il correspond à la teneur globale en sels de magnésium, on a la relation :

$$\mathbf{TH = TH_{calcique} + TH_{magnésium}}$$

Dans la plupart des pays, on exprime la dureté en degré hydrométrique.

- Le degré hydrométrique français correspond à 0,0056 gramme de CaO / litre.
- en Allemagne, le degré hydrométrique correspond à 0,01 gramme de CaO / litre et le degré hydrométrique anglais correspond à 0,00798 gramme de CaO / litre.

Ainsi, les eaux sont classées suivant leur dureté « tableau n°3 » .

Tableau n°3 . La dureté d'eau [2]

La nature de l'eau	La dureté
Eau très douce	0 - 1,5 m éq/L
Eau douce	1,5 - 3 méq / L
Eau moyenne	3 - 6 méq/L
Eau dure	6 - 10 m éq/ L
Eau très dure	Plus que 10 m éq / L

4.3.1. Titre hydrométrique magnésium

C'est la différence entre le titre hydrométrique total et le titre hydrométrique.

$$\text{TH magnésium} = \text{TH total} - \text{TH calcium}$$

Ou bien :

$$\text{TH mg} = 0,0001[\text{Mg}^{++}] \quad [\text{mol/l}]$$

4.3.2. Relation entre TH et TAC

Si $\text{TAC} = 0$

Toute la dureté est non carbonatée (permanente)

Si $\text{TAC} < \text{TH}$

$\text{TH} - \text{TAC}$ dureté non carbonatée (permanente)

$\text{TAC} =$ dureté carbonatée (temporaire)

4.4. Indices d'entartrage

Les eaux de distribution ont des compositions très différentes suivant leur origine. Plusieurs facteurs peuvent aussi avoir une influence sur le pouvoir entartrant de l'eau ; ces facteurs sont : la dureté en calcium, l'alcalinité, la température, le pH, et la qualité de l'eau qui peut être déterminée à partir de certains indices qui sont :

4.4.1. Indices de Langelier ou indices de saturation

C'est l'étude de l'équilibre carbonique d'une eau calcaire ; il fait intervenir tous les équilibres qui existent à une température donnée entre les ions H^+ , OH^- , CO_3^{2-} , H_2CO_3 , ce qui se ramène à établir une relation entre le pH, le titre hydrométrique calcique, l'alcalinité et la température.

L'indice de saturation de Langelier est égal à la différence entre le pH actuel de l'eau et le pH de saturation (pH auquel elle ne serait ni entartrante ni corrosive) ce pH de saturation pH_s s'obtient à partir de la température, la dureté calcaire, l'alcalinité au méthylorange ou l'alcalinité complète (TAC) et la teneur en solides totaux dissous.

Le pH de saturation étant connu, Langelier définit un nouveau paramètre sur le tableau n°4 , suivant :

Tableau n°4 . les paramètres de Langelier [2]

pH de saturation	Tendance de l'ion
$pH - pH_s > 0$	Eau entartrante
$pH = pH_s$	Eau neutre
$pH - pH_s < 0$	Eau corrosive

Le relation de pH de saturation :

$$pH_s = P(TAC) + PCA + C$$

(P(TAC) ,P(ca) , C) sont obtenues a partir de l'abaque-1-(voire ABAque-1)

4.4.2. indice de RYZNARD ou indice de stabilité

Une autre méthode d'évaluation pour résoudre ce même problème est l'indice de stabilité de RYZNARD. C'est un indice empirique destiné pour déterminer le caractère corrosif ou entartrant des eaux.

$$IR = 2 pH_s - pH$$

pH_s étant le pH de saturation de Langelier. L'interprétation est la suivante « tableau n°5 »:

Tableau n°5 . indice de RYZNARD [1]

Indice de RYZNARD	Comportement de l'eau dans le réseau
4 - 5	Entartrage important
5 - 6	Entartrage faible
6 - 7	Equilibre ou légère corrosivité
7 - 7,5	Légère corrosivité
7,5 - 8,5	Corrosivité notable

4.5. Produit de solubilité (formation de tartre)

Un électrolyte légèrement soluble se dissout dans l'eau jusqu'à ce qu'une solution saturée de ses ions se forme. Considérons une solution saturée de calcium avec sulfate de calcium solide. Si une quantité de sulfate de calcium solide passe en solution, un nombre égal d'ions calcium et d'ions sulfate doivent se former :



En appliquant la loi des équilibres chimiques à ce système, nous obtenons l'expression mathématique suivante :

$$K_e = [\text{Ca}^{++}] [\text{SO}_4^{--}] / [\text{Ca SO}_4]$$

Etant donné que les $[\text{Ca SO}_4]$ demeurent fondamentalement constants on a :

$$[\text{Ca}^{++}] [\text{SO}_4^{--}] = K_e [\text{Ca SO}_4] = K_{Ps}$$

où K_{Ps} est appelé le produit de solubilité.

4.5.1 Influence de la température sur le produit de solubilité

Puisque le produit de solubilité diminue quand la température augmente, nous voyons que le sulfate de calcium (CaSO_4), comme la plupart des sels de calcium, est moins soluble dans l'eau chaude que dans l'eau froide, le dépôt se formera donc sur la paroi chaude où il va adhérer et non au sein de l'eau qui est plus froide.

4.5.2. Influence de pH sur Ks

La température et la concentration ne sont pas les seules variables agissant sur le Ks, certains constituants générateurs de tartre sont sensibles à la présence d'autres ions, en particulier à la présence d'hydrogène ou d'ions hydroxyde, qui sont liés au pH.

5. CONSEQUENCES

Quelles que soient leurs origines, les tartres ont des conséquences bien connues sur le fonctionnement des installations. Donc l'entartrage peut provoquer toute une série de problèmes

- Une diminution progressive des sections de tuyauteries avec une augmentation des pertes de charge.
- Le mauvais fonctionnement des organes d'équilibrage hydrauliques qui se dérèglent.
- Les pertes de rendement dues au pouvoir isolant du tartre, ce qui augmente la consommation d'énergie.
- Une élévation de température de service des appareils avec le risque de destruction par surchauffe.
- En outre, le tartre en grande quantité est un agent favorisant le développement de certaines bactéries.



CHAPITRE 2
ETUDE THERMIQUE

CHAPITRE 2

ETUDE THERMIQUE

1. Echanges thermiques dans une tour de réfrigération [6]

1.1. Caractérisation des fluides

1.1.1. Fluide réfrigéré

Dans le cas des réfrigérants humides, le fluide réfrigéré est dans la très grande majorité des cas de l'eau douce, prélevé en lac ou en rivière, dans ces conditions et compte tenu des températures et des pressions atteintes dans une tour de réfrigération en fonctionnement, il est raisonnable de considérer les propriétés thermodynamiques de l'eau comme constantes, toutefois, il est possible de trouver des cas où l'on utilise comme fluide réfrigéré des eaux avec une forte charge saline, Ces fortes salinités ont alors une influence sur certaines propriétés physiques de l'eau comme :

- La masse volumique
- La chaleur massique
- La pression de vapeur saturante
- La viscosité
- La conductibilité thermique

1.1.2. Fluide de refroidissement

L'air qui est la source froide principale des réfrigérants atmosphériques est en fait constitué d'un mélange gazeux :

L'air sec : mélange de plusieurs gaz dont on considère les concentrations constantes et dont le mélange a le comportement d'un gaz parfait

La vapeur d'eau : Ce mélange est assimilé à une solution idéale et à ce titre des grandeurs thermodynamiques comme l'enthalpie et donc les chaleurs massiques sont additives .

L'état thermodynamique de ce mélange est défini par :

- La pression P de l'air humide.
- La température T , aussi nommée « température sèche »
- Une grandeur donnant teneur en vapeur d'eau.

1.2. Equations régissant les échanges thermiques dans une tour de réfrigération [6]

L'eau répartie dans une tour de réfrigération, par l'intermédiaire de disperses, s'écoule sous la seule action de la force gravitationnelle sur le corps d'échange.

Cet écoulement peut alors se faire sous forme :

- De gouttes : on utilise des lattes ou des caillebotis en matière plastique.
- De film : dans ce cas l'eau s'écoule sur des feuilles en chlorure de polyvinyle ou en polypropylène qui peuvent avoir des formes très variables.

Dans un cas comme dans l'autre le but est d'obtenir une aire interfaciale entre l'air et l'eau la plus importante possible.

Les calories sont alors évacuées selon trois mécanismes différents. (figure 1)

- Par conduction.
- Par convection.
- Par changement de phase.

1.2.1. Mécanisme de transfert thermique dans une tour de réfrigération

a). Transfert de chaleur par conduction

Ce mode d'échange tend à une distribution homogène, au sein du liquide, de l'énergie cinétique moyenne des diverses particules par diffusion des zones où la valeur moyenne de cette énergie -c'est-à-dire la température -est élevée, vers les zones où elle est plus faible.

Ce mode de transfert intervient à l'échelle microscopique, dans le cas de la réfrigération humide ce mécanisme permet de transférer la chaleur du sein du film liquide vers l'interface gaz/ liquide selon l'équation :

$$k_L a dz (\theta_L - \theta_f) = q_L C_{PL} \dots\dots\dots(1)$$

b). Transfert de chaleur par convection

Le transfert de chaleur par convection est un mécanisme qui se produit au niveau macroscopique.

Il intervient principalement lorsque les milieux considérés ont une grande liberté de mouvement, ce qui est le cas avec les liquides et les gaz.

Les fluides peuvent alors transporter des quantités de chaleur directement liées à leurs capacités.

Dans le cas qui nous intéresse, le transfert de chaleur par convection a lieu de l'interface gaz/ liquide vers le flux d'air.

Le moteur de cet échange est la différence de température existant entre l'eau s'écoulant sur le corps d'échange et le flux d'air circulant à contre -courant, on peut l'exprimer selon la relation :

$$k_G a dz (\theta_f - t_A) = q_A C_{PA} dt_A \dots\dots\dots(2)$$

avec :

$$C_{PA} = C_{pa} + xC_{PV}$$

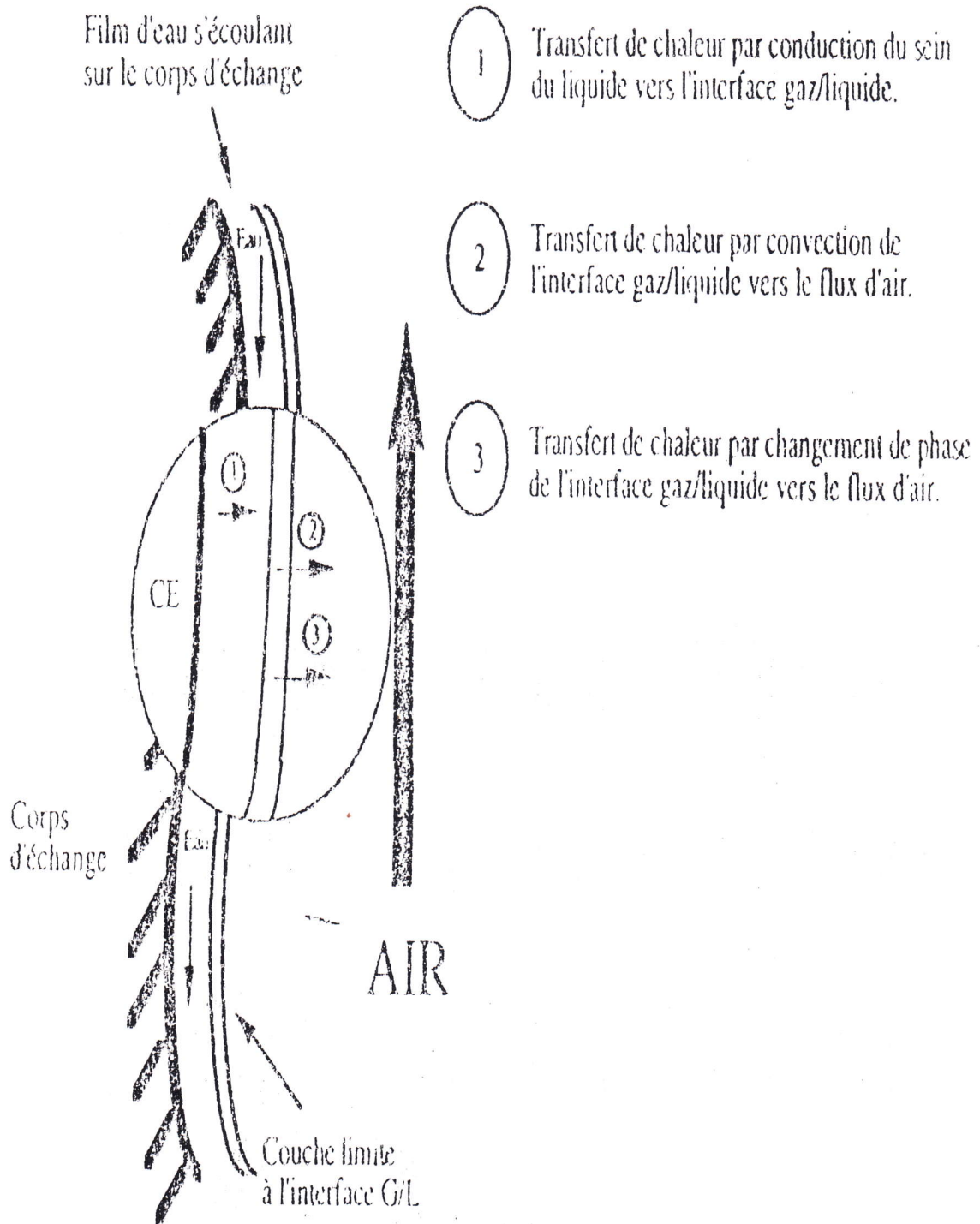


Figure - 1 : Mécanisme intervenant au cours des échanges de chaleur dans un réfrigérant humide.

c). Transfert de chaleur par changement de phase

Le transfert de chaleur par changement de phase s'accompagne d'un transfert de matière.

Si nous prenons l'exemple du film d'eau circulant au contact d'un courant d'air la concentration en vapeur à l'interface gaz/liquide correspond à l'état de saturation à la température du liquide.

La pression partielle en vapeur d'eau de l'air étant inférieure à la pression saturante à la surface du liquide, il se crée un gradient de pression entraînant un transfert de masse par diffusion de « la couche limite de diffusion » vers le courant d'air.

Le transfert de masse s'accompagne d'un transfert de chaleur, appelé « transfert de chaleur latente », il s'effectue de « la couche limite thermique » vers le flux d'air. On peut alors écrire :

$$K_v \rho a dz (X_f - X) = q_A dx \dots \dots \dots (3)$$

1.2.2. Equations régissant les échanges thermiques

Nous avons dénombré trois mécanismes différents de transfert de chaleur ayant lieu dans une tour de réfrigération.

En fait, le transfert par conduction est négligé devant les deux autres, on suppose que la température est uniforme dans le film liquide et égale à la température de l'eau à l'interface gaz/liquide.

Pour établir le système d'équations régissant les échanges, il est nécessaire de faire un certain nombre d'hypothèses :

- Il y a égalité des surfaces de transfert de masse et de chaleur.
- La pression de saturation de la vapeur d'eau est petite par rapport à la pression atmosphérique.

Les bilans massique et énergétique nous permettent d'écrire :

1. Bilan massique

Si on suppose que les pertes en eau par entraînement vésiculaire sont nulles, la variation du débit d'eau est uniquement due aux pertes par évaporation à la traversée du corps d'échange.

Soit :

$$dq'm_a = q'm_a dx \dots \dots \dots (4)$$

2. Bilan énergétique

L'énergie gagnée par l'air lors de son passage dans la tour est égale à l'énergie perdue par l'eau par convection et changement de phase.

Soit :

$$q'ma \, dHa = a (\theta_E - \theta_A) + H_V \, d'qme \dots\dots\dots(5)$$

avec :

$$dq'me = q'ma \, dx \dots\dots\dots(6)$$

d'où on déduit :

$$d\theta = \frac{q'ma}{q'me} (1/Cpe \, dHa - d\theta \, dx) \dots\dots\dots(7)$$

2. Mise en évidence des mécanismes de précipitation du Ca CO₃ dans une tour de réfrigération [6]

On distingue deux situations distinctes vis – à – vis de l'entartrage :

1. La précipitation est très importante, elle est décelable par un suivi des caractéristiques chimiques de la solution.
Cet entartrage est réparti sur l'ensemble du pilote, en fait toutes les surfaces mises en contact avec la solution sont susceptibles de s'entartrer, on retrouve des dépôts principalement sur le corps d'échange et dans les serpentin.

2. La précipitation est peu importante, en particulier elle ne peut pas être décelée en suivant les caractéristiques chimiques de la solution.
On retrouve cependant des dépôts essentiellement sur le corps d'échange.

3. Influence de la formation des dépôts sur le fonctionnement d'une tour de réfrigération [6]

La formation et l'accumulation de dépôts sur les corps d'échange des tours de réfrigération peuvent perturber de façon importante le fonctionnement d'une tour.

L'apparition de ces dépôts est la conséquence de plusieurs phénomènes dont nous essayerons d'analyser l'importance relative.

Il s'agit de la formation de tartre par précipitation de carbonate de calcium, du piégeage de particules solides en suspension dans l'eau par les garnissages et de la prolifération d'organismes vivants qui trouvent dans une tour de réfrigération des conditions propices à leur développement.

Les nuisances occasionnées par ces dépôts sont principalement de deux types :

1. L'augmentation de la surcharge pondérale, due à ces dépôts, s'exerçant sur les structures qui soutiennent le corps d'échange ne peut dépasser une certaine limite sans risquer une rupture de ces structures.

Lorsque la masse de dépôt a atteint ce niveau critique, l'exploitant est alors obligé de nettoyer, voire de remplacer le garnissage.

2. La présence de ces dépôts est également à l'origine d'une perte des performances thermiques de la tour.

Ces études ont montré que pour un type de garnissage l'efficacité thermique de la tour pouvait chuter de 30 à 50 % pour une masse de 240 Kg / m³.

En fait cette diminution des performances thermique « $k \text{ a } v / L$ », en fonction de la prise de poids.

Nous avons vu que l'échange thermique dans un réfrigérant humide se fait principalement par changement de phase, or il est intéressant de noter l'analogie qui existe entre les échanges de matière à l'interface gaz/liquide lors de ce changement de phase et les échanges de matière à l'interface liquide/solide qui ont lieu dans les processus de précipitation.

Ainsi, l'optimisation d'un corps d'échange du point de vue des échanges thermiques s'accompagnera d'une optimisation vis – à – vis de la formation de tartre.



CHAPITRE 3
Procédés utilisés pour éliminer le
tartre

CHAPITRE 3

PROCEDES UTILISES POUR ELIMINER LE TARTRE

1. Procédés utilisés pour éliminer le tartre

Les considérations purement thermodynamiques sont incapables de prévoir si une eau va être sursaturée en carbonate de calcium CaCO_3 et la cinétique de la précipitation jouent un rôle fondamental.

Parmi les principaux procédés on peut citer :

- Les procédés physiques.
- Les procédés chimiques.

1.1. Les procédés chimiques [2]

Les méthodes chimiques de lutte contre ce phénomène consistent à injecter dans l'eau un inhibiteur (phosphates, polycarboxylates) qui s'adsorbe de façon sélective sur le site de croissance des cristaux de carbonate de calcium et les empêche de s'agglomérer entre eux ainsi que de s'incruster sur les surfaces solides.

Ces inhibiteurs agissent par effet de seuil c'est – à- dire qui ils sont efficaces à des teneurs, en général, très faible (de l'ordre du mg/L).

Parmi les méthodes chimiques on peut citer :

A. La décarbonatation *

La décarbonatation est un procédé chimique de lutte contre l'entartrage, qui consiste à éliminer complètement ou moins les ions carboniques (CO_3^{2-}) et les ions bicarbonique (HCO_3^-) qui sont la cause fondamentale de la formation de tartre.

Il existe quelques techniques de décarbonatation.

A.1. La décarbonatation acide

Dans ce cas, on vise les bicarbonates. On utilise généralement l'acide sulfurique, qui conduit à des sulfates moins corrosifs que les chaleurs.

Ces procédés présentent sur les autres l'avantage qui ne nécessite aucun appareillage de grandes dimensions, et l'inconvénient dans le fait qu'il transpose un phénomène d'entartrage en un phénomène de corrosion pour les raisons suivantes :

- Abaissement du pH de l'eau.
- Augmentation de la teneur en sel d'acide fort .
- Donc un tel traitement impose l'emploi des produits anti-corrosifs, efficaces dont les doses, sont déterminées par des essais préliminaires.

A.2. Décarbonatation à la chaux

Ce sont des réactions avec formation d'un composé insoluble dans l'eau.

Les plus fréquentes sont la précipitation des bicarbonates de Mg et Ca «décarbonatation à chaux».

La chaux réagit sur les bicarbonates alcalins terreux d'après la réaction suivante :



CaCO₃ est un précipité constitué de cristaux élémentaires de quelques microns, mais le développement de la cristallisation est très rapide et hétérogène.

Si l'ensemble du précipité s'agglomère et décante très vite, une fraction des cristaux demeure en suspension et doit être floculée par l'addition d'un coagulant minéral, à raison de quelques milligrammes par litre du métal, la vitesse de décantation d'ensemble s'élève alors.

Le titre magnésien est aussi susceptible de précipiter lors d'une décarbonatation :

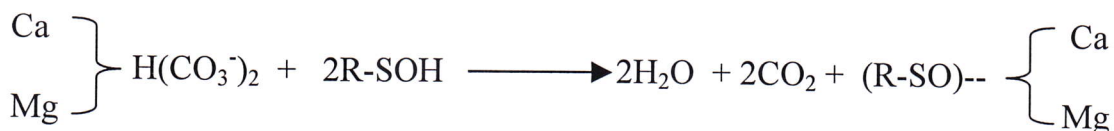


Le carbonate de Mg est en effet relativement soluble. La magnésie précipitée de la décarbonatation d'eaux magnésiennes, il n'est pas nécessaire d'ajouter un coagulant métallique.

A.3. Décarbonatation sur résines

L'eau à traiter traverse un lit de résine fortement acide dite résine de type R-SOH.

Les bicarbonates de calcium Ca(HCO₃)₂ et de magnésium Mg(HCO₃)₂ échangent leurs cations avec les résines suivant le schéma :



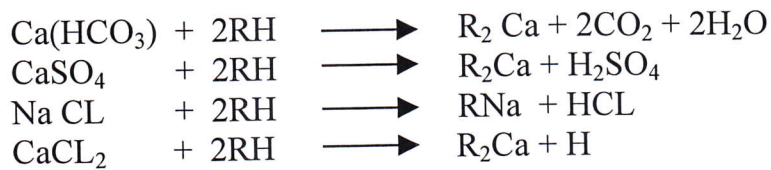
La résine est régénérée par une solution d'acide sulfurique ou d'acide chlorhydrique.

B. Déminéralisation sur échangeur d'ions

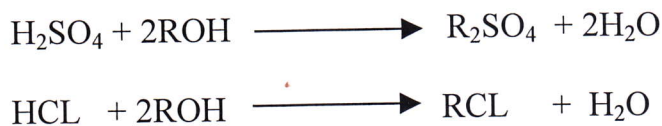
La déminéralisation fait l'objet d'un certain nombre de variantes basées essentiellement sur les paramètres suivants : qualité d'eau à obtenir, composition de l'eau à traiter, consommation de réactifs de régénération.[9]

Donc la chaîne la plus simple comprend deux échangeurs d'ions, l'eau passe successivement sur une résine cationique forte mise sous la forme R-H et une résine anionique faiblement basique mise sous forme R-OH.

➤ Echangeur des cations :



➤ Echangeur d'anions :



L'eau ainsi obtenue est à TH, TAC nul.

La déminéralisation est habituellement suivie d'un dégazage thermique qui permet d'éliminer la plus grande partie de l'oxygène dissous.

Au niveau des conséquences, si l'on admet l'apparition des cristaux comme fatale on peut essayer :

- de retarder le phénomène de germination en augmentant le temps de germination jusqu' à ce qu'il devienne supérieur au temps de séjour, le problème est résolu.
- de favoriser la germination homogène, au dépend de germination hétérogène.
- les cristaux formés apparaissent alors au sein de liquide et forment des boues peu adhérents qui sont purgés en continu par l'écoulement du liquide ; la formation de ces boues.
- de diminuer la vitesse de croissance des cristaux, donc de diminuer la vitesse d'entartrage , et donc la fréquence de nettoyage, l'utilisation des inhibiteurs favorise ces traitements dits internes .

C. Adoucissement par échange d'ions

Echange d'ions par les zéolites :

Principe :

Les zéolites sont des produits minéraux complexes du type aluminosilicates, insolubles dans l'eau, ayant une structure de polyacide et capables lorsqu'on les met en contact avec ceux présents dans l'eau suivant les cas, on peut utiliser les zéolites, soit sous forme zéolites sodium (Z-Na₂), soit sous forme de zéolite acide.

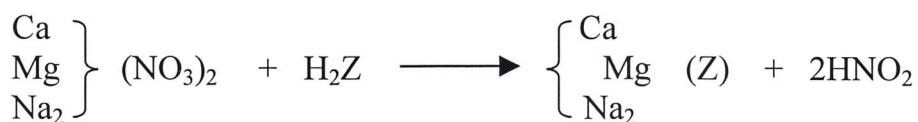
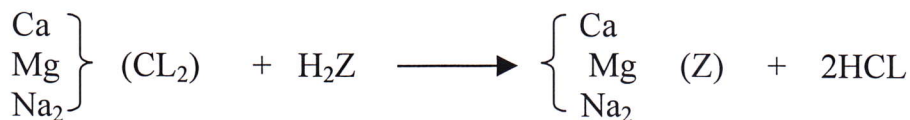
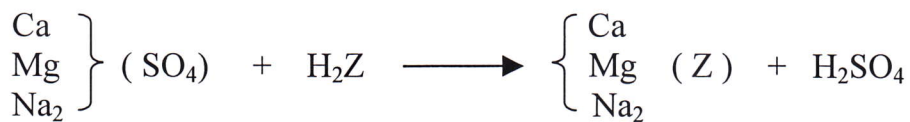
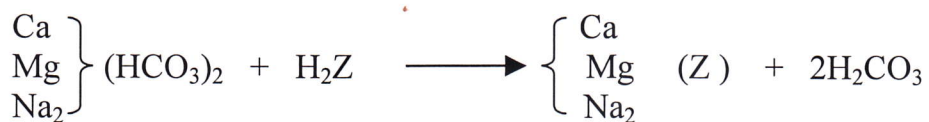
L'équation d'échange s'écrit :



Ou dans le cas d'une zéolite acide :



L'ion présent dans l'eau étant sous forme de sel, il y a libération de l'acide correspondant avec les zéolites acides.

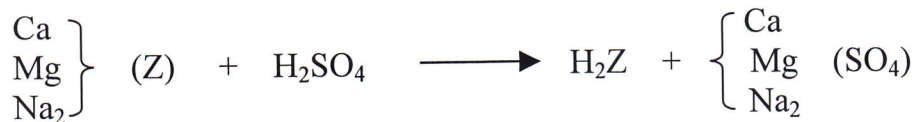


Etude du phénomène d'entartrage des circuits du refroidisseur de la ville de Touggourt

La molécule échangeuse d'ions peut être régénérée avec une solution concentrée de sel suivant l'équation :



Dans le cas où l'on veut régénérer la zéolite sous forme acide, la régénération a lieu avec une solution acide d'après l'équation :



Dans la pratique, plusieurs solutions sont possibles :

- Utilisation en parallèle de l'adoucissement par zéolite sodium et hydrogène de façon à ramener l'alcalinité de l'eau à une valeur inférieure à l'initial.
- Adoucissement par zéolite hydrogène et neutralisation par de l'eau brute dans le cas où l'on pourrait tolérer une certaine dureté résiduelle.

La loi fondamentale d'action de masse détermine le cours de la réaction, dans le cycle adoucissant, l'ion calcium prédomine et c'est la première réaction qui a lieu dans le cycle de régénération, l'ion sodium ou l'ion hydrogène prédomine et c'est la deuxième réaction qui a lieu, étant donné que la régénération nécessite la présence d'un excès de sel, une quantité équivalente de dureté ne peut être éliminée pour une quantité donnée de sel consommé.

L'eau qui alimente les unités échangeuses d'ions ne doit pas contenir des solides en suspension, le calcium et le magnésium seulement sont éliminés et le pourcentage total de solides dissous reste le même. Pour cette raison le procédé est rarement employé pour l'eau d'appoint des tours de refroidissement, et quand il est employé, une partie seulement de l'eau a besoin d'être traitée, puisque l'effluent a une dureté avoisinant zéro.

Il faut remarquer que l'usage des zéolites sodium ne modifie pas l'alcalinité de l'eau puisque les bicarbonates de (Ca) et (Mg) sont transformés en bicarbonate de sodium, par contre l'usage des zéolites acide ou hydrogène remplace les bicarbonates par du gaz carbonique dissous qu'il est possible d'éliminer par réaction ce qui est favorable, mais les sels de dureté non carbonatée sont transformés en acides libres (sulfurique, chlorhydrique, nitrique) et il s'ensuit généralement la nécessité d'une ré-alcalinisation.

1.2. Les procédés physiques [7]

Cinq procédés physiques se disputent le marché et ont conduit à de nombreux appareils commercialisés, utilisés pour éliminer le tartre.

Parmi les méthodes physiques proposées actuellement on a :

- l'adoucissement électrochimique .
- la génération des ondes électromagnétiques de moyennes fréquences .
- la microélectronique de l'eau .
- Appareil des alpha 2 .
- le passage de l'eau à travers des aimants permanents .

A. L'adoucissement électrochimique

L'adoucissement électrochimique est un procédé qui joue le rôle d'empêcher toute précipitation du carbonate de calcium , ce qui exige l'abaissement fort de dureté des eaux, donc il est préconisé d'installer un adoucisseur électrochimique.

Description du procédé [3]

Principe :

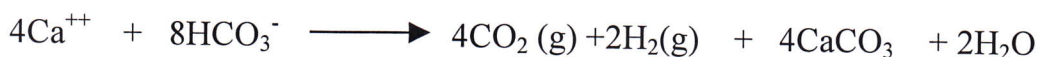
L'adoucissement électrochimique consiste à effectuer une macro électrolyse de l'eau entre une anode à la surface de laquelle a lieu l'oxydation de l'oxygène des anions hydrogénocarbonates (HCO_3^-) en oxygène moléculaire avec production de dioxyde de carbone selon :



et une cathode où l'hydrogène H^+ de l'anion HCO_3^- est réduit en hydrogène selon :



Globalement l'électrolyse réalise la réaction électrochimique suivante : (I)+(II)



Etude du phénomène d'entartrage des circuits du refroidisseur de la ville de Tougourt

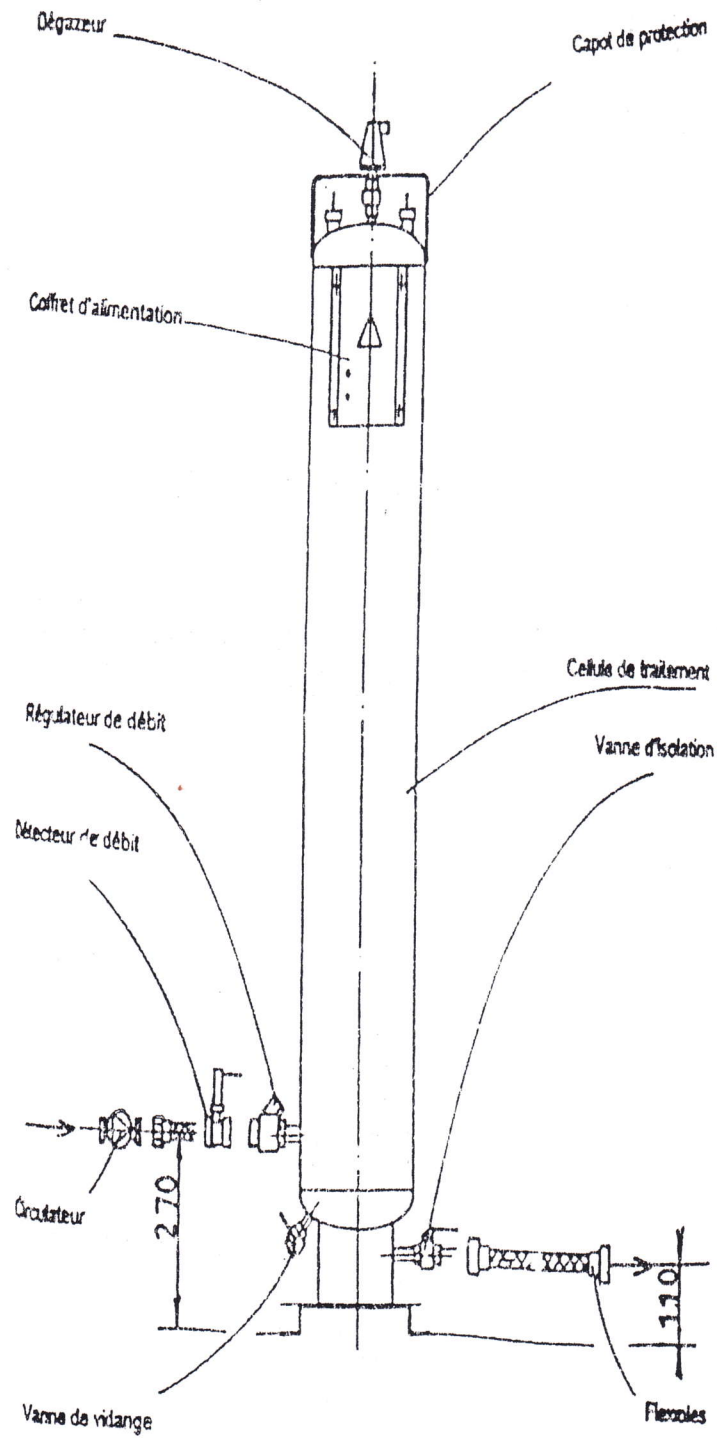


Figure 2 - : Vue de l'andoucisserie électrochimique.

Description de l'appareil

L'adoucisseur que nous avons étudié est constitué d'une cuve en acier inoxydable de forme cylindrique (figure 2).

La cuve fonctionne en cathode, elle est traversée par trois anodes centrales.

Le réaction de traitement comporte une vanne d'entrée et une vanne de sortie.

Il comporte encore une vanne médiane permettant le prélèvement d'eau lors du fonctionnement du réacteur et une vanne de purge en sa partie basse pour récupérer les tartres déposés.

Une soupape permet le transfert dans l'atmosphère de gaz dégagés aux électrodes.

Le réacteur est alimenté par un générateur permettant d'imposer une différence de potentiel réglable entre 0 et 30 V, l'intensité du courant variant entre 0 et 3 A.

Le mode de fonctionnement du réacteur étant potentiostatique, la différence de potentiel imposé est constante ; l'intensité du courant d'électrolyse peut varier légèrement en raison de la variation de la conductivité de l'eau au cours de son traitement, la valeur indiquée de l'intensité est la valeur initiale .

B. La génération des ondes électromagnétiques de moyennes fréquences

La méthode consiste à envoyer des ondes électromagnétiques de moyenne fréquence dans une antenne bobinée à spires jointives sur une canalisation transportant l'eau à traiter. Les appareils correspondants sont d'une construction très facile .

C. Microélectrolyse de l'eau

La méthode a été étudiée dans le cas de l'appareil Eau Tonic.

L'appareil eau tonic réalise une microélectrolyse de l'eau entre une cathode en acier inoxydable qui constitue la cuve (cylindrique) à travers laquelle circule l'eau à traiter et une anode en titane ; un boîtier électronique envoie aux bornes de la cuve une tension continue à laquelle est superposée une tension alternative de faible amplitude (40 MV) et d'une fréquence de 100 Hz.

Cet appareil a fait l'objet d'une étude détaillée .

Essentiellement par comparaison de l'eau traitée et l'eau non traité (brute) par chrono ampèremètre à potentiel imposé.

Prés de nombreux essais effectués par chrono ampèremètre pour déterminer l'effet de l'appareil on remarque :

- Une augmentation de Te
- Une diminution de l'indice d'entartrage

Le traitement avec cet appareil modifie d'autres paramètres, comme une légère diminution de la dureté avec une augmentation de pH.

Cela signifie la diminution de la résistivité de l'eau, donc elle devient plus conductrice. Tous ces effets n'ont aucune influence sur la composition de l'eau.

D. Appareil des alpha2[7]

Cet appareil comporte une cuve de traitement où circule l'eau, il est muni d'une électrode cylindrique de (70 mm) de diamètre et d'une électrode coaxiale constituée d'une tige métallique de 10 mm de diamètre.

Un générateur électronique permet, d'appliquer aux bornes des électrodes une tension variable en fonction du temps semblable à des décharges de condensateur dont la fréquence dépend du débit d'eau traversant la cuve.

Ce traitement qui est fait à l'aide de l'appareil «DES alphas » considère que le T_e de l'eau traitée est beaucoup plus grand que celui obtenu avec l'eau non traitée et ce traitement n'a aucune modification significative sur la composition de l'eau, on note seulement une légère augmentation de la turbidité de l'eau.

E. Aimants permanents [7]

Ce procédé consiste à faire passer l'eau à traiter à travers une succession d'aimants permanents. Certains fabricants insistent sur l'importance d'un cheminement hélicoïdal de l'eau à travers les aimants ainsi que sur la présence de restrictions de débit, en sorte que le débit de l'eau varie le long de son trajet dans les aimants.

La question intéressante est la suivante :

Toutes les eaux sont-elles traitables physiquement et comment le déterminer ?

Des chercheurs ont proposé d'effectuer successivement sans renouveler l'eau, deux essais d'entartrage accéléré, le temps d'entartrage du premier essai est désigné par T_1 , celui du deuxième essai réalisé immédiatement après la première est désigné par R_1 .

- Si $R_1 > T_1$: l'eau contient des germes incrustants , ils ont été consommés dans le premier essai, aussi R_1 est plus grand que T_1 ce type d'eau est traitable par un procédé physique .
- Si $R_1 < T_1$: l'eau contient des substances inhibitrices de l'entartrage, elles ont été consommées au cours du premier essai donc cette eau devient plus entartrante, ce type d'eau n'est pas traitable par un procédé physique.
- Si $R_1 = T_1$: l'eau contient beaucoup de substances inhibitrices de l'entartrage,

Elles ne sont pas consommées de manière appréciable par le premier essai, une telle eau est à priori peu entartrante, elle n'est pas traitable par un procédé physique.

Les procédés physiques anti-tartre sont une réalité même si leur mode d'action et loin d'être entièrement élucidé.

Parmi les trois procédés utilisés, les études les plus complètes concernent les appareils de type électrolytique dont on comprend bien qu'ils soient capables d'agir sur les germes d'entartrage pré existant mais surtout de fabriquer des germes colloïdaux de carbonate de calcium ayant un effet anti-incrustation.

CHAPITRE 4
ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE 4

ETUDE EXPERIMENTALE

1. Introduction

On a réalisé ces analyses sur un échantillon de dépôt de tartre prélevé sur des canalisations à Touggourt.

Toutes les analyses d'eau de l'Albien ont été effectuées au niveau du laboratoire de l'agence nationale des ressources hydrauliques ANRH de Ouargla, et au niveau du Centre de Recherche et Développement de la SONATRACH.

Nous n'allons pas nous limiter à quantifier les cations et anions qui donnent des précipités, mais aussi à déterminer les paramètres dont la connaissance est nécessaire pour connaître comment ces précipités forment le tartre, et aussi connaître la qualité d'eau utilisée dans le refroidisseur.

Pour cela, nous avons commencé à analyser le tartre puis l'eau, tout en se basant sur l'étude du phénomène de l'entartrage.

2. Appareillage

Parmi Les appareils que nous avons utilisés pour analyses sont décrits ci dessous :

- pH METRE NUMERIQUE TYPE632(annexe1)
- DIFFRACTOMETRE à RAYONS X (annexe1)

3. Techniques de mesures

3.1. Mesures de pH

*** Réactifs :**

solution tampon pH = 4 , pH = 9

***Mode opératoire :**

Après avoir étalonné le pH-mètre par les deux solutions tampons et mesuré la température de l'échantillon, ajuster le régulateur de température sur les valeurs trouvées de température, plonger les deux électrodes dans l'échantillon et attendre jusqu'à ce que la valeur de PH se stabilise.

***Expression des résultats :**

Le PH de l'échantillon considéré est directement lu sur l'appareil.

*** Précision :**

la précision de l'appareil est de +/- 0,01 (1%)

3.2. Mesures de TH, THca, THmg, TA, TAC, Cl⁻ (figure n° 3).

***Mode opératoire :**

On étalonne la fiole conique avec des volumes d'eau croissants 75, 100 et 300ml, on marque les différents niveaux d'évaporation que l'on souhaite obtenir, on introduit 300mL d'eau d'appoint.

On prépare toute l'installation (boucher la fiole, le capillaire devra baigner dans la solution tout au long de l'évaporation qui sera faite).

On met sous vide l'installation, on met en route le chauffage avec une température qui ne doit pas dépasser 50 °C

On réduit le volume d'eau jusqu'au volume souhaité.

On réduit le vide et on laisse la solution reposer à l'air libre sous agitation jusqu'à 20°C à la température ambiante.

On fait l'analyse : TH, THca, THmg, TA, TAC, Cl⁻

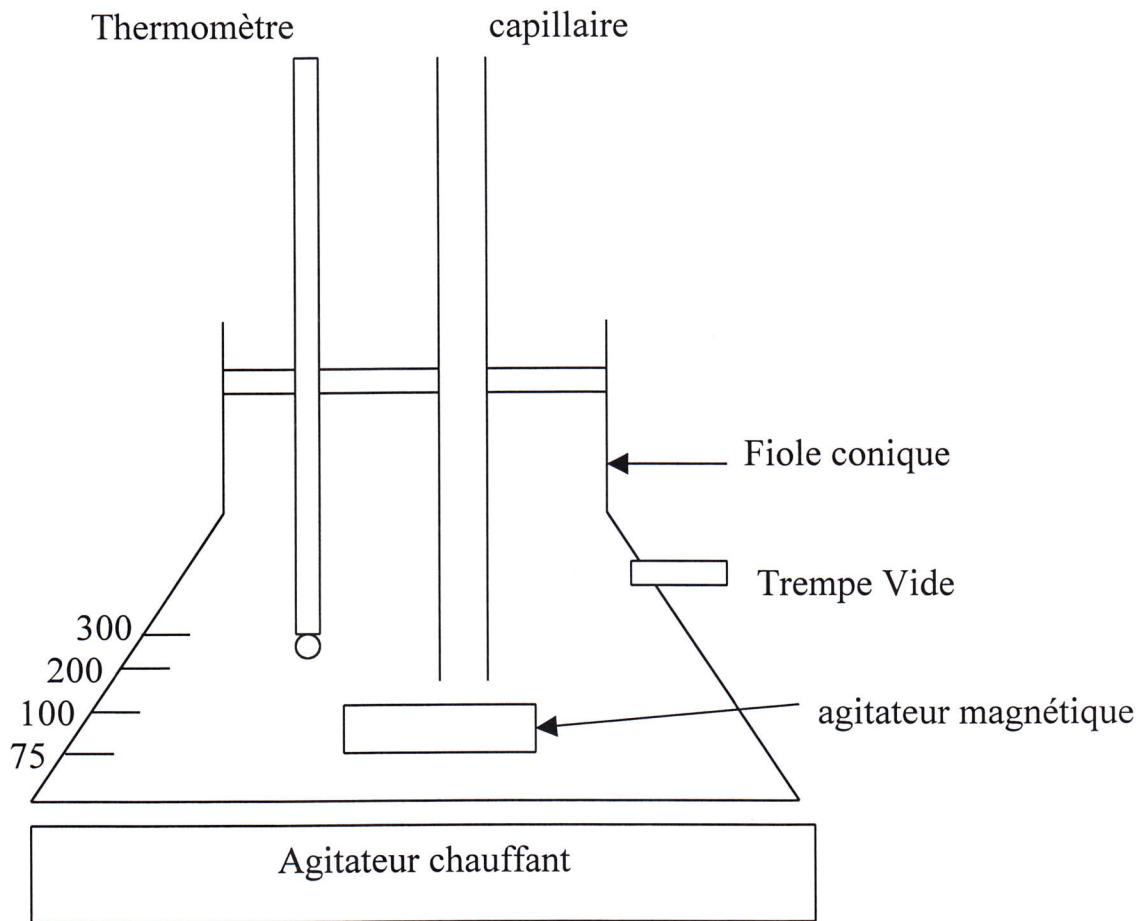


Figure 3 . Représentatif d'essai de tartrifuge

3.3. Détermination de la dureté

*** Principe :**

Le sel dissodique de l'acide éthylènediamine tétra- acétique (EDTA) cristallisant avec H_2O , a la propriété de se combiner avec les ions Ca^+ , Mg^{++} pour former des composés solubles et très peu dissociés appelées chélates.

*** Réactifs :**

- noir eriochrome T
- solution tampon ammoniacale
- NH_4Cl , 54g + NH_4OH , 350 ml + eau distillée (volume totale 100ml)
- Solution d'EDTA 0,01M

*** Mode opératoire :**

On introduit 100ml d'eau à analyser ; on ajoute quelques gouttes de la solution tampon ammoniacale 2 –5 ml et une pincée de noir eriochrome T, on titre avec l'EDTA jusqu' au virage de rouge violacé au bleu .

TH = volume de l'EDTA nécessaire pour le titrage

3.4. Titre alcalimétrique complet (TAC)

*** Principe :**

On mesure l'ensemble des anions faibles : les hydroxydes (OH^-) et les carbonates (CO_3^{--}) et les bicarbonates (HCO_3^-) en présence de l'acide sulfurique.

Réactifs :

- acide sulfurique (H_2SO_4)
- méthyle orange(indicateur coloré)

Mode opératoire :

La mesure est effectuée par addition d'un acide fort (H_2SO_4) 0,1N en présence de méthyle orange (indicateur à 100ml d'eau à analyser jusqu'au virage de la couleur.

$$\left\{ \begin{array}{l} TAC = \frac{V(H_2SO_4) \times N(H_2SO_4)}{100} \times 1000 \\ TAC = V(H_2SO_4) \text{ °F} \end{array} \right.$$

3.5. Titre alcalimétrique (TA)

*** Principe :**

On mesure l'ensemble des anions faible : les hydroxydes (OH⁻) et les carbonates (CO₃⁻)

*** Réactifs :**

- acide sulfurique 0,01N
- phénolphtaleine(indicateur).

*** Mode opératoire :**

La mesure est effectuée par l'addition d'un acide fort (H₂SO₄) en présence de phénolphtaleine à 100ml de l'eau à analyser (solution rose) jusqu'au virage incolore.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{TA} = \frac{V(\text{H}_2\text{SO}_4) \times N(\text{H}_2\text{SO}_4)}{100} \times 1000 \\ \text{TA} = V(\text{H}_2\text{SO}_4) \text{ } ^\circ\text{F} \end{array} \right.$$

3.6. Dureté calcique

*** Principe :**

Le calcium présent dans l'eau est amené à former un complexe du type chélate avec la solution de l'EDTA.

La disposition des traces d'éléments à doser (Ca⁺⁺) est décelé par le virage de l'indicateur.

*** Réactifs :**

- NaOH 1N
- Indicateur Muixide
- EDTA 0,01mol/l

*** Mode opératoire :**

Pour 100ml à analyser on ajoute 4 ml de NaOH et une pincée de l'indicateur, s'il y a coloration violette, le calcium est nul, si la coloration passe au rose on titre à ce moment avec l'EDTA, le virage de la coloration passera du rose au violet.

Soit V : volume de l'EDTA

$$TH_{(Ca)} = (V) \cdot F$$

3.7. Chlorures

*** Principe :**

On précipite en milieu neutre les ions (Cl⁻) par des cations (Ag⁺) en présence de chromate de potassium ; l'apparition de la teinte rouge due au chromate d'argent indique la fin de la réaction, pour pH > 8 on corrige celui-ci à l'acide nitrique dilué.

*** Réactifs :**

- .solution de nitrate d'argent
- .solution de chromate de potassium à 10 %

*** Mode opératoire :**

Sur un échantillon de 100ml convenablement neutralisé , on ajoute 3 gouttes de chromate de potassium . on titre avec une solution de nitrate d'argent jusqu' à l'apparition de la teinte rouge du chromate d'argent, on prend la chute de la burette V.

$$T(Cl) = V \cdot 35,5 \text{ (mg /L)}$$

4. RESULTATS ET INTERPRETATION

4.1 . Caractéristiques chimiques des eaux

4.1.1. Analyse de l'eau

A. Caractéristiques des forages des eaux souterraines de l'albien de la Touggourt

Dans la région de Touggourt, le gouvernement a mis en exploitation une nappe d'eau fossile (plusieurs forages) à grande profondeur pour les besoins de la population et l'agriculture et la lutte contre la désertification du sud algérien.

La profondeur des forages varie entre 1600 et 1800 mètres.

La température de l'eau, à la sortie des forages, dont la plupart sont actuellement artésiens, varie entre 50 et 65 °C et elle émerge sous une pression totale comprise entre 20 et 30 bars.

Le débit d'exploitation est compris entre 80 et 150 l/s, ces eaux sont d'une extrême salinité (1,8 à 2,2 g/l), elles sont très chargées en anions, sulfates et chlorures, et leurs teneurs en calcium et en magnésium sont très élevées (tableau n°6).

Tableau n°6 . Caractéristiques des forages d'Albiens

Forage	Profondeur R (m)	Année	Débit Mobilisé (L/s)	Température (°C)	Débit Exploité (L/s)	Pression (bar)
Sidi Mahdi III	1760	1993	250	58	80	25
Ain Sahra	1760	1980	200	58	150	25

B. L'analyse d'eau de l'albien de Ain Sahra à été effectuée au laboratoire ANRH de Ouargla

- **Nom de lieu : Albien de Ain Sahra / Touggourt**
- **Date prélèvement : 20/ 05 / 2002**

Tableau n°7 . Analyse d'eau de l'albien /Ain Sahra

Eléments	mg/L	méq /L
Ca ⁺⁺	132	6,59
Mg ⁺⁺	179	14,21
Na ⁺	293	12,74
K ⁺	38	0,97
SO ₄ ⁻⁻	857	17,02
HCO ₃ ⁻ (bicarbonate)	122	2,00
NO ₃ ⁻	0,00	0,00
CO ₃ ⁻	0,00	0,00
Cl ⁻	479	13,48
Somme des cations	34,51 méq/l	
Somme des anions	32,50 méq/l	
Résidu sec à 110°C	2008 mg/l	
Conductivité	2,47 ms/cm	
PH	7,87	
TH°Français	104	
Minéralisation	1874	
Turbidité (FTU)	03	

C. L'analyse d'eau de l'Albien de Sidi Mahdi III à été effectuée au laboratoire ANRH de Ouargla

- **Nom de lieu : Albien Sidi Mahdi III /Touggourt**
- **Date de prélèvement : 20/05/2002**

Tableau n°8 . Analyse d'eau de l'albien / Sidi Mahdi III

Eléments	mg/L	méq/L
Ca ⁺⁺	127	6,34
Mg ⁺⁺	144	11,86
Na ⁺	280	12,17
K ⁺	35	0,89
SO ₄ ⁻⁻	720	15,00
HCO ₃ ⁻ (bicarbonate)	121	2,05
NO ₃ ⁻	0,00	0,00
CO ₃ ⁻	0,00	0,00
Cl ⁻	490	13,81
Somme des cations	31,26 méq/l	
Somme des anions	30,86 méq/l	
Résidu sec à 110°C	1858 mg/l	
Conductivité	2,21 ms/cm	
pH	7,89	
TH°Français	91	
Minéralisation	1677 mg/l	
Turbidité (FTU)	03	

Interprétation des analyses de l'eau de l'unité [8]

□ Le pH

Pour tous les échantillons la valeur du pH varie entre (7,5 à 7,8), c'est un pH basique qui a pour effet de favoriser la formation du tartre. La valeur alcalinité (TA) est forcément nul donc on en déduit que l'alcalinité est entièrement due aux bicarbonates (HCO_3^-).

Le (TAC) et variés en fonction de pH qui exprime les quantités des ions (HCO_3^-) et (CO_3^{--}) et CO_2 (graphe 2), est donc essentiellement sous forme de bicarbonates et il y a formation de CaCO_3 selon l'équation réversible :



□ Dureté calcique

La teneur en CaCO_3 est assez importante, elle atteint la valeur de 700 (mg/l)

□ Solide dissous Total (TDS)

Les solides dissous qui seront essentiellement dans notre cas sous forme de bicarbonates de calcium et de magnésium se trouvent à des teneurs qui atteignent 2000(ppm)

□ pHs

Le pHs est établi d'après un graphique (voir Abaque-1), faisant établir l'alcalinité et le calcium exprimés en (mg/L CaCO_3), la salinité totale (extrait sec en mg/l) qui influe, par l'intermédiaire de la force ionique, sur la valeur des coefficients apparents de dissociation des équilibres et la température, la valeur du PHs passe de (5,2à7,8)

Il a été calculé uniquement dans le but de déterminer l'indice de Langelier

□ L'indice de saturation de langelier

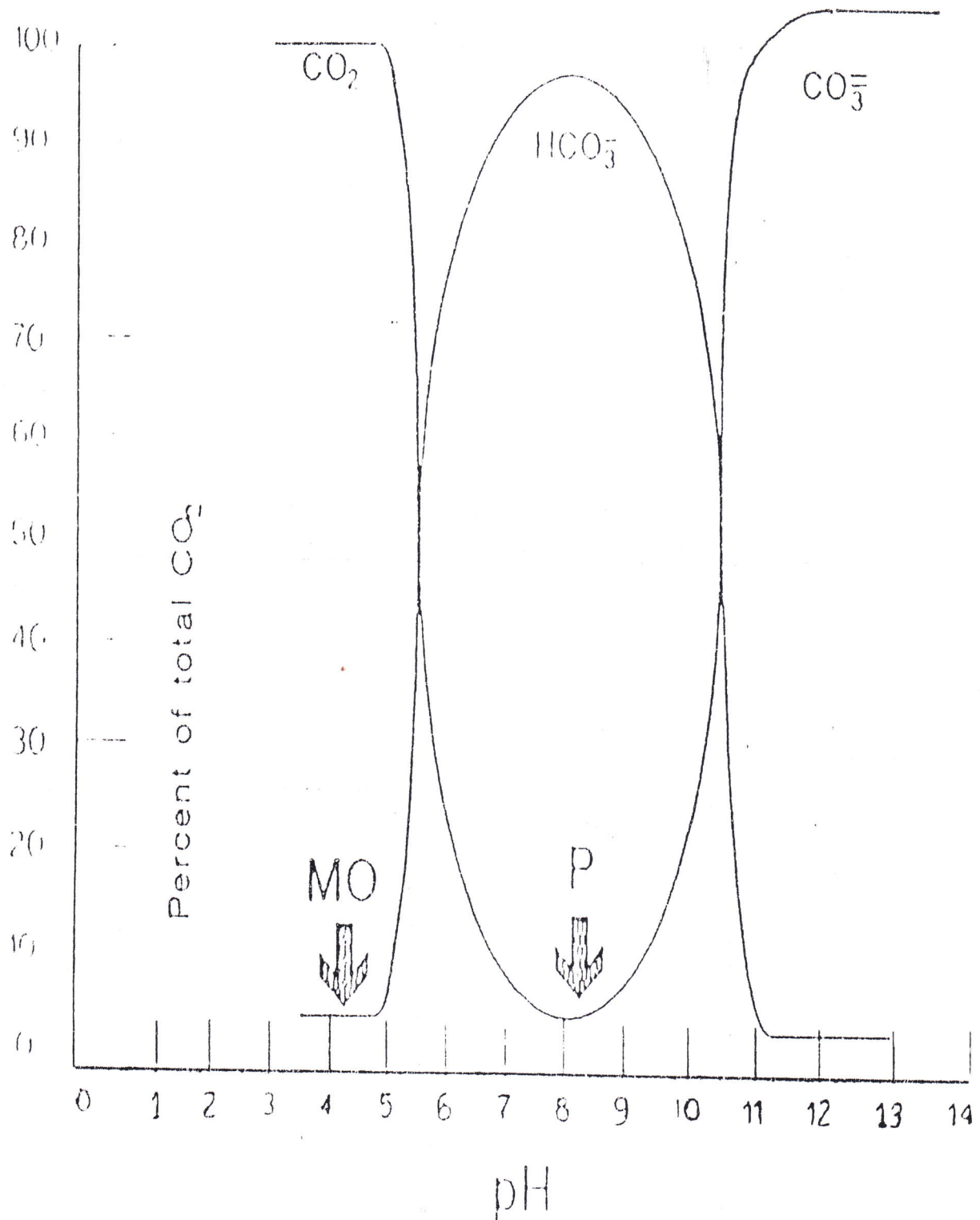
Nous indique la qualité de l'eau (entartrant,corrosive,neutre).

Il est calculé d'après la formule :

$$I_L = \text{pH} - \text{pHs}$$

La valeur de l'indice de saturation pour l'eau de Touggourt est égale a 0,07. Ce qui confirme bien que notre eau est une eau entartrante.

Etude du phénomène d'entartrage des circuits du refroidisseur de la ville de Tougourt



Graphique -2 : EVOLUTION COMPAREE DES TROIS ESPECES CARBONEES EN FONCTION DU - pH

□ **Indice de Ryznard**

La valeur de l'indice de Ryznard de l'eau de Touggourt est égale à 5,58. Pour tous les échantillons elle est inférieure à 6, ce qui confirme bien, comme cela a été fait avec l'indice de Langelier, que l'eau d'alimentation est entartrante.

□ **Influence de la température**

La formation du carbonate de calcium (CaCO_3) solide est maximale aux alentours de 60°C , cela se traduit par une nette diminution de la concentration des ions (Ca^{++}) en solution causée par la rupture de l'équation carbonique, en effet les bicarbonates se transforment en carbonates moins solubles.

Au-delà de cette température, le solide alcalin commence à disparaître pour céder la place à un autre dépôt de tartre non alcalin.

Le type de tartre le plus prononcé est composé essentiellement de carbonate de calcium et de carbonate de magnésium ainsi que de sulfates de calcium.

• **l'interprétation des résultats [10]**

La formation incontrôlée des dépôts de tartre a lieu dans deux circonstances. D'une part, l'eau issue des forages est envoyée dans des tours de refroidissement où elle s'écoule sur des systèmes de planches pour accroître la surface de contact entre l'eau et l'atmosphère.

L'eau émergente du forage est transportée en haut de la tour de refroidissement sous l'effet de la pression (25 bars) à la sortie du forage, elle n'a pas besoin d'être pompée.

Du fait de la baisse brutale de pression en haut de la tour et de la division de l'eau en pluie dans celle-ci, le dioxyde de carbone se dégage et le carbonate de calcium précipite.

D'autre part, la précipitation du tartre se poursuit dans les conduites qui amènent l'eau aux points d'utilisation.

Et aussi on voit que le taux de bouchage peut atteindre 86 % au bout d'une durée de fonctionnement pour une conduite de diamètre intérieur initial de 150 mm. (voir tableau n°

Tableau n°9 Evolution du diamètre des canalisation transportant les eaux géothermales en fonction du temps et pourcentage de bouchage .

Diamètre iniale De la Canalisation (mm)	Après Une année % de bouchage	Après Deux année %de bouchage	Après Trois années % de bouchage	Après Quatre année % de bouchage
150	13,3	40	60	86,7
200	11,1	30	45	65
250	8	24	36	52
300	6,7	20	30	43,3

4.1.2. Analyse de dépôt

L'analyse du tartre déposé sur les circuits de refroidisseur, qui forme une couche de l'ordre d'un millimètre nous a donné résultats suivants (tableau n°10) :

Tableau n°10 . Analyse de dépôt

Sels	Teneurs en %
CaCO ₃	85,6%
MgCO ₃	9,4%
Fe ₂ O ₃	5%
Total	100%

L'analyse du dépôt révèle qu'il est essentiellement composé de carbonate de calcium (CaCO₃) et de magnésium (MgCO₃) ainsi que des (Fe₂O₃) Généralement ces sels peu solubles dans l'eau se déposent des que la température est proportionnellement élevée.

Ceci ne peut être d'une part qu'à de la qualité de l'eau d'alimentation utilisée pour le refroidissement et l'élévation de température et la diminution du produit de solubilité ce qui favorise la formation de dépôt.

4.1.3. Influence de l'entartrage sur le transfert thermique

Le tartre en se formant va créer avec le temps un isolant qui influe négativement sur le transfert de chaleur et deviendra presque nul a une époque déterminée .

En effet par la précipitation du CaCO_3 va se crée un tartre qui viendra a la fois :

1-Former un isolant vis a vis de l'acier des conduites .La chaleur aura a traverser d'abord le tartre qui d'origine a une mauvaise conductivité (voir table), pour arriver a l'acier des conduites qui et en contact directement avec l'air .

Les gros diamètres des conduites sont recommandes pour l'efficacité du transfert de chaleur .

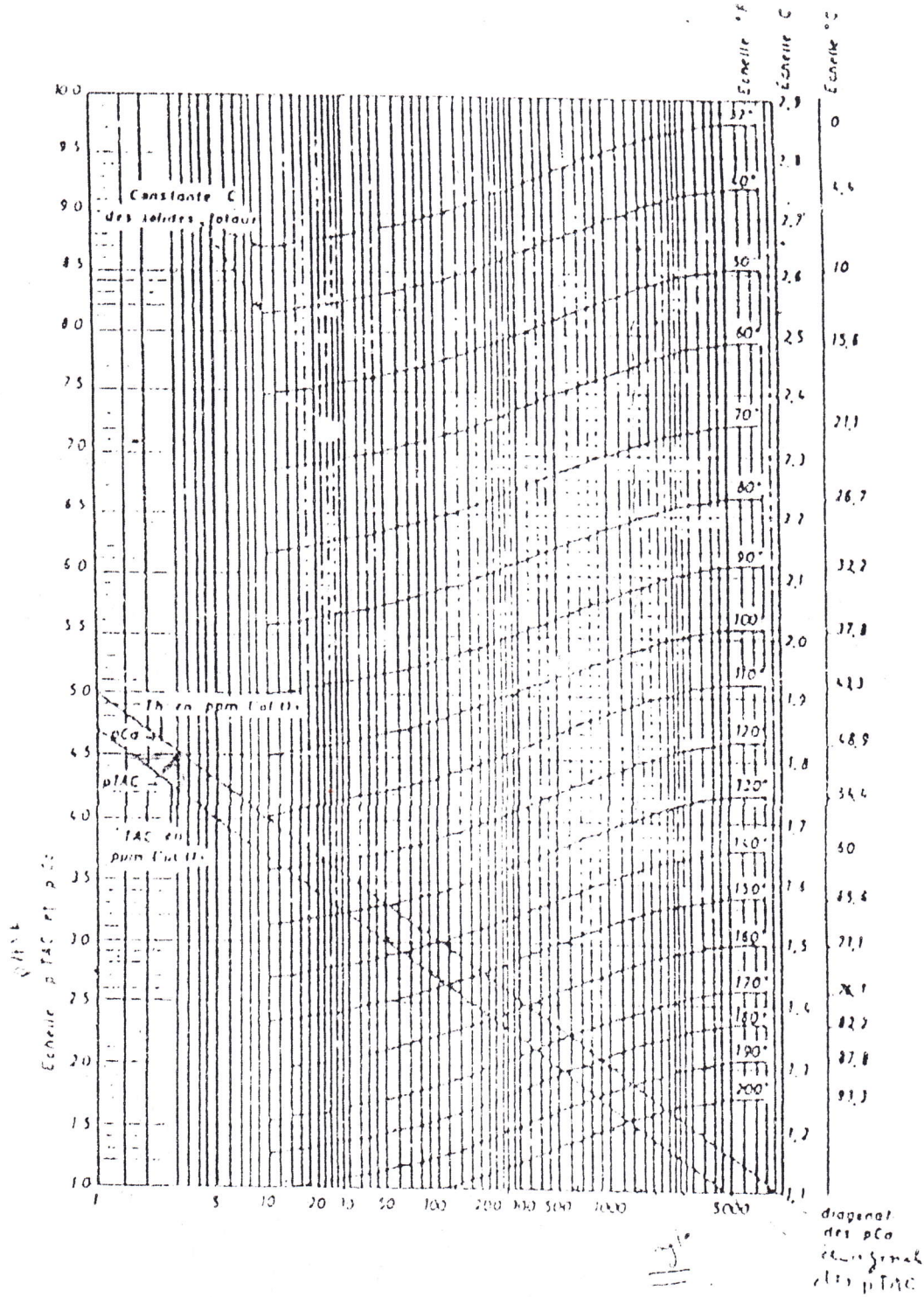
2-La précipitation du CaCO_3 augmentera graduellement et s'accélèrera au fur et à mesure que la decontation se fait avec le temps, d'où maintien de la chaleur dans les conduites, et inefficacité du refroidisseur .

3-Diminuer de la section des conduites qui impliquera l'augmentation de la pression et la température et la diminution du débit .

Tableau n°11. Conductivité thermique

Température (En °K)	273	298	373
Conductivité thermique de CaCO_3 (en w/m)	4,6	...	3,6
Conductivité thermique de l'acier (en w/m)	...	15	...

Etude du phénomène d'entartrage des circuits du refroidisseur de la ville de Tougourt



DETERMINATION DE L'INDICE DE LANGELIER ET RYZNARD ABAQUE 1

L'abaque de la détermination de l'indice de LANGELIER et RYZNARD détermine le pH

De saturation au système de base numériquement elle égale a :

$$pH_s = P_{TAC} + P_{Ca} + C$$

Le (P_{TAC} , P_{Ca} , C) sont obtenues a partir de l'abaque-1- (voir Graphe3)

UTILISATION DE L'ABAQUE

- LECTEUR DE C

- Lire la T° de l'eau en ordonnée

- suivre le diagramme en abscisse jusqu'au point où il croise

- revenir en ordonnée pour lire C

- Donc $C = 2,5$

- LECTURE DE P_{TAC}

- prendre la valeur de la concentration de bicarbonate en abscisse

- suivre en ordonnée jusqu'au croisement avec la courbe de P_{TAC}

- revenir en ordonnée pour lire la valeur de P_{TAC} a partir du point d'intersection

- Donc $P_{TAC} = 2,6$

- LECTEUR DE P_{Ca}

- prendre la concentration de calcium en abscisse

- suivre en ordonnée jusqu'au croisement avec la courbe de P_{Ca}

- revenir en ordonnée pour lire la valeur de P_{Ca} au point de l'intersection .

- Donc $P_{Ca} = 2,7$

D'après les résultats obtenus on calcule le pHs ($pH_s = 7,8$)

Conclusion Générale et Recommandation

Tel qu'il a été signalé au début du manuscrit le refroidisseur de Touggourt a pour but de refroidir l'eau produite par l'eau Albien .

Pour ce qui est du processus l'eau est refroidie grâce à la tour de refroidissement .

Le refroidissement s'effectue au contact de l'air libre par ventilation continue.

Lors du fonctionnement du refroidisseur le problème d'entartrage survient affectant ainsi les installations et les canalisations .

Suite aux analyses effectuées sur l'eau refroidie et sur le tartre en dépôt nous avons trouvé que l'eau d'albien qui alimenté le refroidisseur c'est eau entartrant ,basique.

Qui favorise la formation de dépôt de tartre qu'il essentiellement composé de carbonate de calcium (CaCO_3 de 85,6%)

Il y a plusieurs paramètres favorisant la précipitation des dépôt tel que le pH, la température et le produit de solubilité .

Pour faire face a ce phénomène on envisage :

- 1- A la sortie du puits cette eau passe par des bassins de stockage perdant quelques degrés et ainsi subissant un traitement par un inhibiteur d'entartrage avant d'atteindre le refroidisseur , ce qui fait que le phénomène de précipitation à tendance a diminuer .
- 2- Remplacer la tour de refroidissement par des bassins où l'eau s'écoule en pluie a partir de conduites perforées.
- 3- Mettre en place des tours de refroidissement performantes avec des matériaux adéquats.
- 4- Opération continue de maintenance de la tour (vérification, contrôle, lavage des dépôt, nettoyage).
- 5- Choisir les meilleurs matériaux pour fabriquer les conduites d'acheminement de l'eau afin d'avoir le meilleur échange thermique .
- 6- Respecter la dose d'injection de l'inhibiteur pour éviter les problèmes de santé.

En résumé nous pourrions dire que le refroidisseur de Touggourt joue un rôle vital pour la ville et ses environs .Cet état de fait évoluant améliorerait les condition de vie de toute cette région et contribuerait de beaucoup a son développement .

Il faut souhaiter que la communauté des scientifiques s'implique dans des recherches de génie de procédés et de l'environnement que justifie largement l'enjeu économique qui constitue la lutte contre le phénomène d'entartrage .

Annexe

ANNEXE1

PH mètre numérique TYPE 632

Principe de fonctionnement :

La différence de potentiel entre une électrode de verre et une électrode de référence (KCL saturé) plongé dans une même solution est une fonction linéaire du PH selon la loi de (Nernst) :

$$E = E^{\circ} + (2,3 RT/ nF) \log a(H^{+})$$

E : potentiel mesuré (volt)

E° : constante dépendant du choix de l'électrode de référence et solutions internes

R : constante des gaz (J/mol °K)

T : température absolue (° K)

n : charge d'ion

f : constante de faraday(96500)

$a(H^{+})$:activité de l'ion H^{+}

Paramètre mesuré : pH

Diffraction à rayon X TYPE D5000

La méthode consiste à exposer un réseau cristallin à des rayons x sous différents angles (selon les différents plans réticulaires) et de la mesurer la l'angle de la diffraction pour chacun de ces plans .

Les résultats sont représentés sur un spectre donnant plusieurs pics caractéristiques selon le nombre des plans réticulaires exposés .

Annexe 2

Fiche Technique de Tour de la refroidissement a ventilation Forcée (Touggourt)

Débit d'eau	1440m ³ /heure
Température d'eau chaude.....	60°C
Température d'eau refroidie.....	30°C
Température du bulbe humide.....	25°C
Perte d'évaporation.....	5,4%
Perte d'entraînement.....	0,08%
Type du réfrigérant.....	contre-courant
Type du remplissage.....	splash
Nombre de cellule.....	2
Longueur de la cellule.....	8,1m
Largueur de la cellule.....	8,1m
Longueur du réfrigérant.....	19m
Hauteur d'entrée de l'eau.....	13m
Nombre de ventilateurs par cellule.....	1- Nombre total des ventilateurs.....2
Diamètre du ventilateur.....	3,8m
Puissance absorbée par ventilateur.....	52HP
Puissance du moteur.....	75HP
Capacité du bassin.....	380m ³

Annexe 2

Les unités en traitement des eaux

Mg/L (milligramme par litre)

$$1\text{mg/L} = 1000\mu\text{g/L}$$

ppm (parties par million)

$$1\text{ ppm} = 1000\text{ ppb} \quad \text{Equivalent au mg/Kg}$$

dans l'eau en solution peu concentrée

$$\text{mg/L} \# \text{ ppm} \quad (d=1)$$

Degré Français

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

$$1^\circ\text{F} = 1/5000 \times \text{M/V}$$

M: masse molaire de l'ion ou du composé

V: valence (nombre de liaisons mises en commun)

$$1^\circ\text{F}(\text{CaCO}_3) = 10\text{mg/L (ppm en (CaCO}_3))$$

TA(°F)

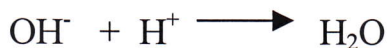
existe si $\text{pH} > 8,3$

Neutralisation de l'eau par un acide jusqu' à $\text{pH} = 8,3$



TAC (°F)

Neutralisation de l'eau avec un acide jusqu' à $\text{pH} = 4,3$



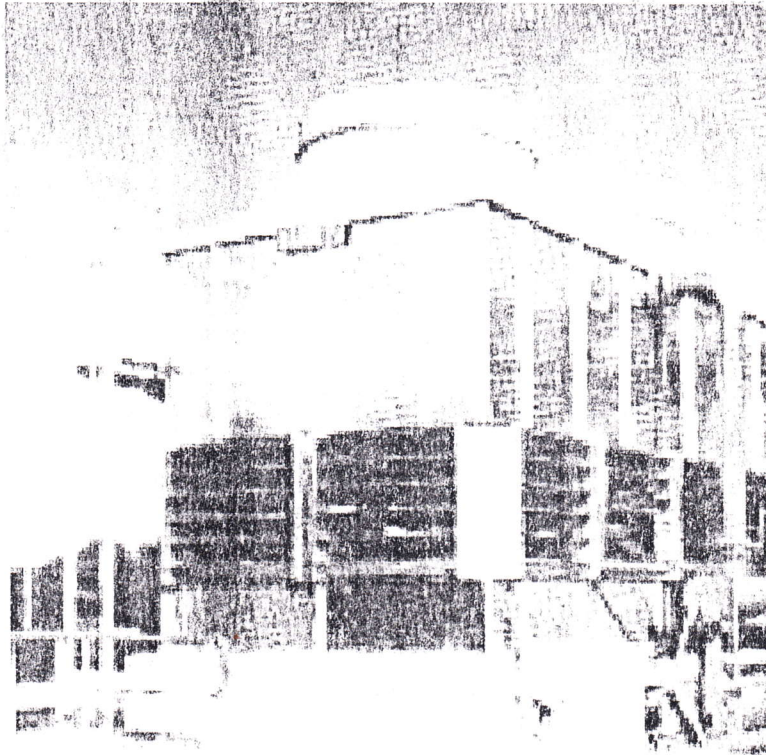
Annexe 3

Valeur de référence des grandeurs caractéristique de l'air humide

Symbole	Grandeur	Unité	Valeur de référence
P_0	Pression de référence	Pa	101325
T_0	Température de référence	K	273,15
ρ_0	Masse volumique de l'air sec à P_0 et T_0	Kg/m ³	1,293
M_v	Masse molaire de la vapeur d'eau	Kg	$18,05 \cdot 10^{-3}$
M_a	Masse molaire de l'air sec	Kg	$28,965 \cdot 10^{-3}$
R	Cte universelle des gaz parfaits	J/(mol.K)	8,3143
δ	Rapport des masse molaires M_v/M_a		0,62198
h_{f0}	Chaleur latente de fusion de la glace à 0°C	KJ/Kg	333,01
C_{PA}	Chaleur massique à pression constante de l'air sec	J/(Kg.K) (t en °C)	$1005,6 + 16,03 \cdot 10^{-3} \cdot t$
C_{PE}	Chaleur massique à pression constante de l'eau liquide	J/(Kg.K) (t en °C)	$4217,8 - 1,724t + 33,98 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$
C_{PV}	Chaleur massique à pression Cte de la vapeur d'eau	J/(Kg.K) (t en °C)	$1835 - 0,367 \cdot t$
e_s	Pression de vapeur saturante : -Sur l'eau -Sur glace	Pa	$\text{Ln}(e_s) = 6,4147 + 17,438t / (239,78 + t)$ (0°C < t < 100°C) $\text{Ln}(e_s) = 6,4146 + 22,376t / (239,78 + T)$ (40°C < t < 0°C)
μ	Viscosité de l'air sec à 10°C	Kg/(m.s)	$1,765 \cdot 10^{-5}$
h_{v0}	Chaleur latente de vaporisation de l'eau à 0°C	KJ/Kg	2501,06
λ	Conductivité thermique de l'air sec à 0°C	W/(m.K)	$2,493 \cdot 10^{-2}$

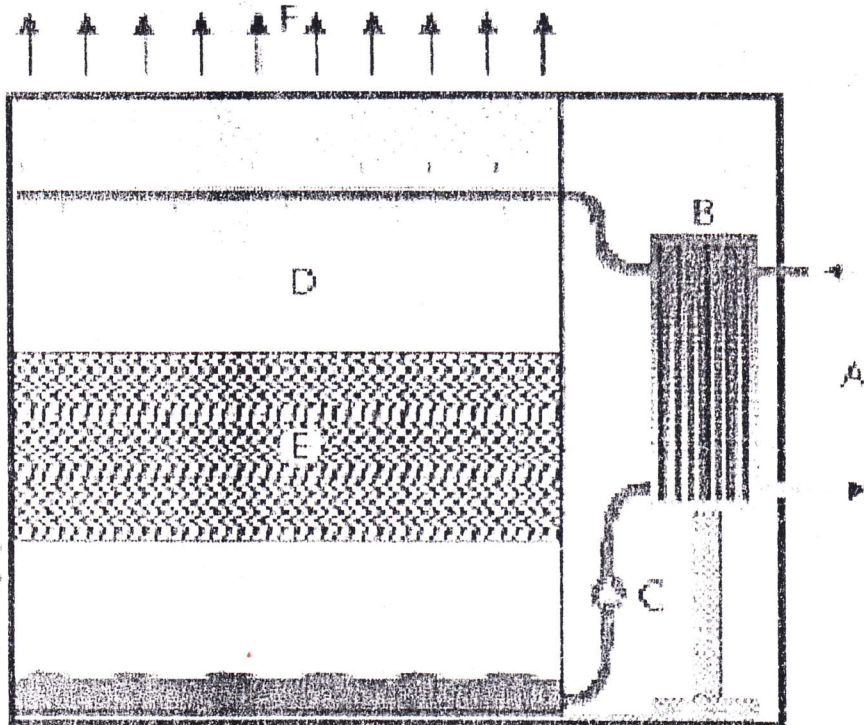
Annexe 4

Réfrigérants atmosphériques type contre-courant



Annexe 5

Schéma de refroidissement



- A : Circuit client (liquide à refroidir)
- B : échangeur à plaques (inox)
- C : pompe
- D : pulvérisation
- E : surface d'échange
- F : sortie Air .

Annexe - 6

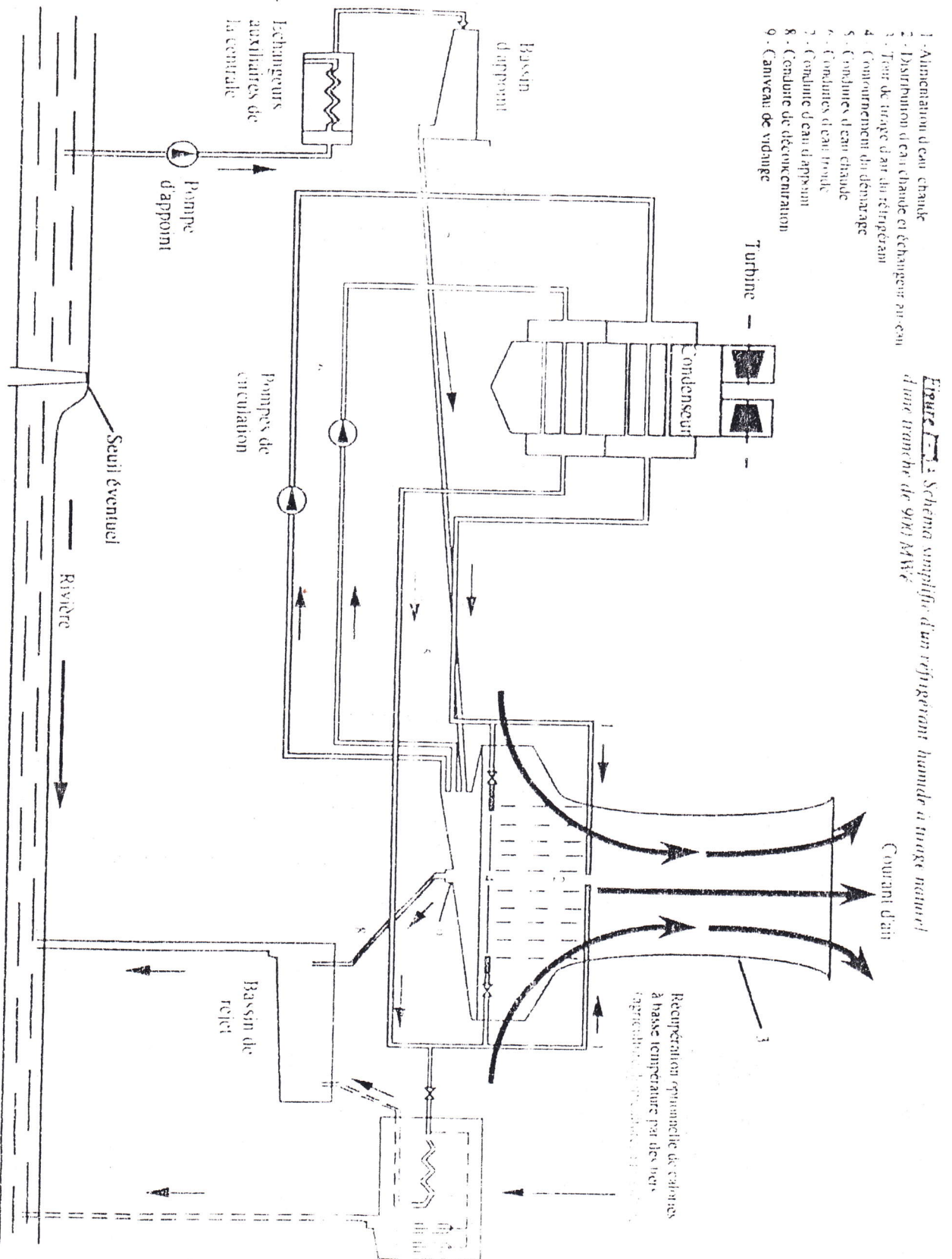
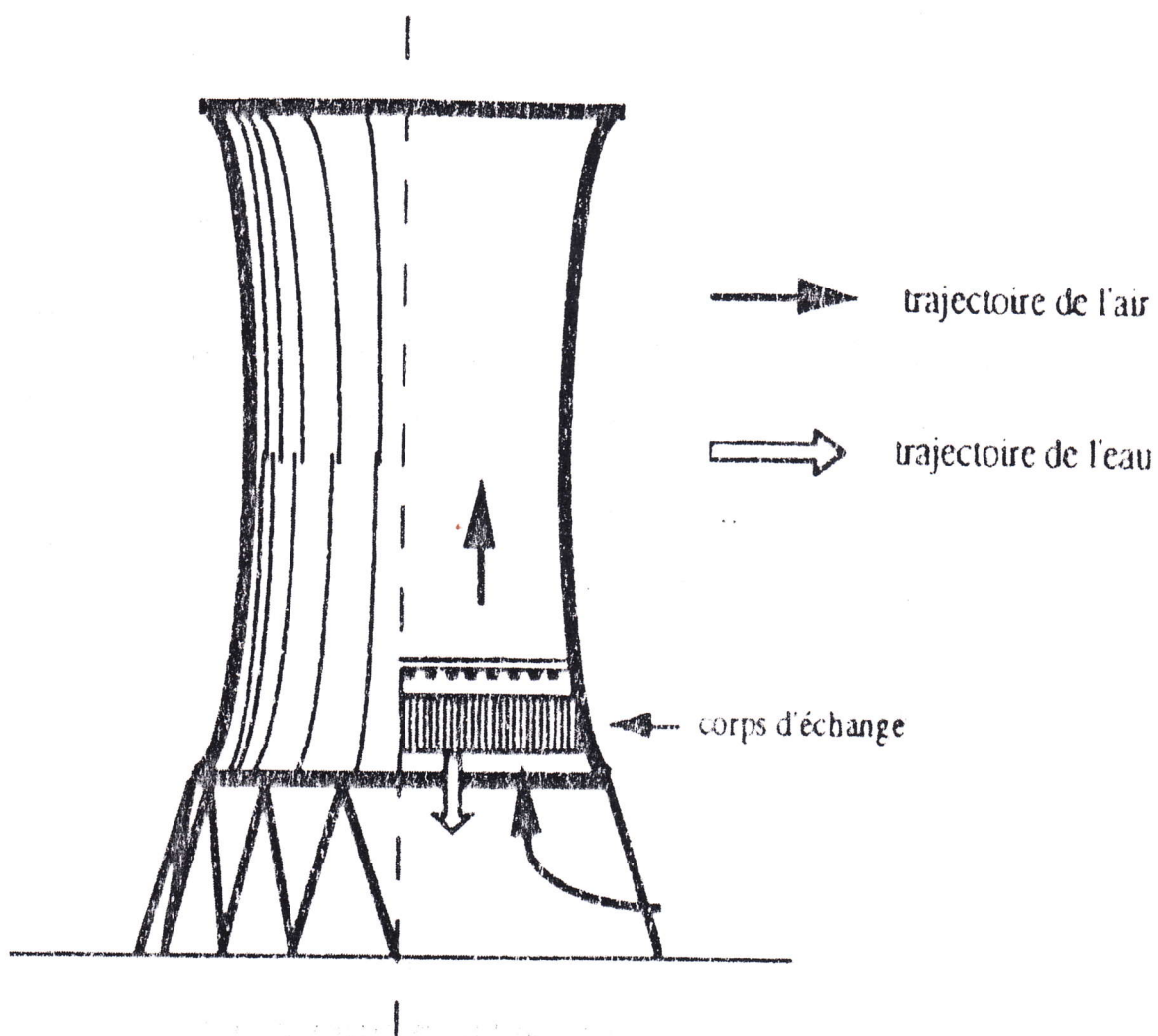


Figure 1-3 Schéma simplifié d'un refroidisseur humide à usage normal d'une tranche de 900 MW

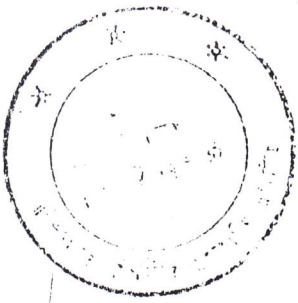
Annexe 7



Réfrigérant humide à tirage naturel et à contre-courant.

Bibliographie

- 1 .RREZZIG et N.MAMMADI (2001) . **Inhibition de l'entartrage de l'eau géothermale du sud algérien**, mémoire d'ingénieur en chimie industrielle, Université de Ouargla .
2. M. Mohand-Said Ouali (2001) . **Traitement des eaux**, Office des publication universitaires / Alger .
3. F. Ismal , D. Mohammedi et B. Tahlhi (1997) . **Lutte contre l'antretrage de l'instalation à multi-etage** . Université de Annaba.
4. D. Degremont (1971) . **Traitement de l'eau dans l'industrie pétrolière** . Edition Paris .
5. N. Nikoladze (1990). **Water treatment** . Edition France .P96
6. M. Laurent Dedieu (1997) . **Etude expérimentale de l'entartrage des corps d'échange des réfrigérants industriels** . Thèse doctorat en génie des procédés ,option environnement. Université de Toulouse France .
7. R. Rosset (1992). **Les procédés physiques anti-tartre : Mythe ou réalité ?** Journal actualité chimique-P138-140
8. M.Khattaf (1999) . **Optimisation du traitement d'une eau entartrante par ajustement de pH** . mémoire d'ingénieur en chimie industrielle, Université de Ouargla .
9. Jacques Bernard (1989). **Mémento technique de l'eau** . Edition Paris France.
10. R.Rosset & .F.Nguyen (1996) . **L'entartrage par les eaux géothermales du sud tunisien** . journal TSM n° 11-novembre P122-133
- 11.A.Ready(1997).NAND BOOK of Chemistry and phsics 79 Th Edition France.



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التجهيز والتنمية العمرانية

الوكالة الوطنية للموارد المائية

المديرية الجهوية للجنوب/ورقلة

مخبر المياه والترية

ص.ب. 140 ورقلة. /الهاتف: 87/88 14 09 71 /الفاكس: 29 11 09 71

نتائج التحاليل

إلى .. مؤرخة .. توزع المياه .. لولاية ..

رقم المخبر: 325 (Prélèvement 31.05.99) El Mankabek

رقم الطلب: المؤرخ في

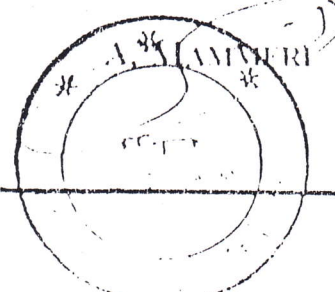
Nom du Forage	III	
N° Laboratoire	323	
Eléments	mg/l	még/l
Calcium / Ca ⁺⁺	127	6.36
Magnesium / Mg ⁺⁺	144	11.88
Sodium / Na ⁺	187	14.48
Potassium / K ⁺	27	0.24
Somme des cations	31,02	
Chlorures / Cl ⁻	516	14.94
Sulfates / SO ₄ ⁻	688	14.33
Bicarbonates / HCO ₃ ⁻	106	1.30
Nitrates / NO ₃ ⁻	0	0.00
Somme des anions	30.97	
Somme des ions (mg/l)	1965	
Résidu-Sec 110°C (mg/l)	1548	
Minéralisation (mg/l)	1609	
Conductivité (ms/cm)	2,121	
pH	7,8	
TH (°F)	94	
Turbidité (FTU)	04	
SAR	/	

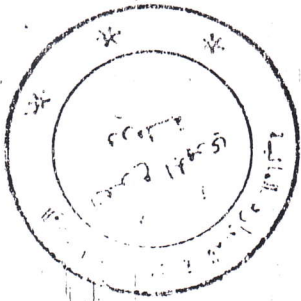
INTERPRÉTATION

Eau d'origine publique
de qualité chimique
passable à médecine
peut servir à l'alimentation
humaine sans avoir
d'une analyse bactériologique

Ouargla, Le 30.06.99

LE CHEF DU LABORATOIRE





الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التجهيز والتهيئة العمرانية

الوكالة الوطنية للموارد المائية

المديرية الجهوية للجنوب/ورقلة

مخبر المياه و التربة

ص.ب. 140 ورقلة. / الهاتف : 87/88 14 09 71 / الفاكس : 29 11 09 71

نتائج التحاليل

إلى ... شركة ... مورخ ...
رقم المخبر : 105
رقم الطلب : المؤرخ في

Nom du Forage	مخبر ورقلة	
N° Laboratoire	105	
Eléments	mg/l	méq/l
Calcium / Ca ⁺⁺	134	6,63
Magnesium / Mg ⁺⁺	174	14,51
Sodium / Na ⁺	255	12,54
Potassium / K ⁺	33	0,97
Somme des cations	396	29,05
Chlorures / Cl ⁻	438	12,36
Sulfates / SO ₄ ⁻	913	19,00
Bicarbonates / HCO ₃ ⁻	101	1,65
Nitrates / NO ₃ ⁻	0	0,00
Somme des anions	3352	33,01
Somme des ions (mg/l)	3198	
Résidu-Sec 110°C (mg/l)	2028	
Minéralisation (mg/l)	1906	
Conductivité (ms/cm)	2,51	
pH	7,60	
TH (°F)	105	
Turbidité (FTU)	✓	
SAR		

INTERPRÉTATION

On s'agit d'un échantillon de qualité d'origine naturelle à l'usage agricole peut servir à l'irrigation dans les zones arides et semi-arides. L'analyse bactériologique est en cours.

Ouargla, Le 27/06/2008

LE CHEF DU LABORATOIRE

A. MAHREJ