

# CHOIX D'UNE METHODE DE TRAITEMENT ANTI-TARTRE DE L'EAU DE CIRCULATION DANS LE SYSTEME CYCLIQUE

M. KHEROUF

Maitre Assistant, Institut de Génie Civil, C.U de Guelma

M. GUENFOUD

Maitre de conférence, Institut de Génie Civil, C.U. de Guelma

## RESUME

*Parmi les inconvénients majeurs de l'utilisation de l'eau de mer dans le système de distribution d'eau industrielle est la capacité de formation du tartre sur la surface d'échange de chaleur. Ce phénomène présente quelques problèmes:*

- *Dérangement de l'exploitation du système cyclique ;*
- *Obturation des conduites dès que son épaisseur devient notable ;*
- *Réduction du coefficient d'échange thermique.*

*Dans cet article, nous prévoyons toutes méthodes existantes de traitement de stabilisation de l'eau de refroidissement (douce ou salée). Puis, nous étudions la possibilité de l'utilisation de l'eau de mer méditerranéenne dans le système cyclique, et nous choisissons une méthode de traitement qui doit être simple, économique et efficace.*

*Les résultats de nos études ont rendus possible l'utilisation de l'eau de la mer Méditerranée dans le système de distribution d'eau de la République Algérienne Démocratique et Populaire.*

*En conséquence, l'utilisation de l'eau de mer aboutit aux avantages suivants*

- *Diminution de la quantité d'eau douce utilisée dans l'industrie ;*
- *Amélioration de l'approvisionnement en eau des villes côtières ;*
- *Développement de l'industrie au Sud Algérien tout en utilisant les eaux saumâtres salées.*

## 1 INTRODUCTION

Le problème de l'alimentation en eau a pris ces dernières années dans le monde entier une acuité

sans cesse, accrue car l'essor systématique et généralisé des besoins se relève d'autant plus difficile à satisfaire que s'épuisent les disponibilités les mieux accessibles et qualitativement les plus favorables auxquelles il a été bien entendu recouru par priorité. La demande en eau pour les usagers domestiques et industriels augmente sans cesse. Si dans un pays, le taux de cette augmentation est de 4% par an, la demande doublera en vingt ans. En l'an 2000, avec une population mondiale de 7 milliards d'habitants et des besoins moyens de l'ordre de 2000 m<sup>3</sup>/hab/an, les besoins totaux s'élèveront à 14 000 Milliards de m<sup>3</sup>/an. Compte tenu des ressources mondiales en eau douce utilisables de 40 000 milliards de m<sup>3</sup>/an, la situation sera encore très loin d'être critique. Cependant en l'an 2050, les ressources en eau équilibreront juste la demande en eau, en supposant que les eaux douces disponibles ne seront utilisées qu'une fois. Or il est certain qu'on se dirige vers une réutilisation multipliée des eaux de sorte qu'il n'y a pas lieu de s'alarmer pour l'an 2050.

Il s'impose dès lors de mobiliser toutes les ressources aquifères auxquels les progrès de la technique peuvent permettre aujourd'hui de faire appel et de reconsidérer parallèlement les facteurs économiques mis en jeu. Il convient de noter que ce problème d'alimentation en eau potable et industrielle s'accroît de jour en jour en Algérie. Donc l'eau occupe une place importante parmi les ressources naturelles et actuellement l'utilisation rationnelle de ces ressources en eau représente le problème du jour pour les pays industrialisés.

C'est pour cela que ces ressources constituent en Algérie, l'une des principales richesses sur

lesquelles repose la prospérité du pays dans l'avenir ainsi que la réussite de son développement économique et social. Il faut remarquer que l'approvisionnement en eau des industries est un problème très important, puisque la plupart des produits industriels utilisent l'eau pour assurer les besoins technologiques.

Les exigences en qualité et en quantité d'eau à utiliser dépendent du caractère du schéma technologique, cette réalisation exigée par le système d'alimentation en eau industrielle assure le fonctionnement normal de l'industrie, la qualité supérieure du produit. Quand à l'inexécution de ces exigences contribue à la détérioration de la qualité du produit et peut être le motif de l'accident dans l'industrie. La qualité (teneur en suspension, salinité, température) de l'eau joue un rôle important dans l'industrie, car les différents schémas technologiques présentent des exigences différentes en qualité et en quantité d'eau utilisable pour ce but.

Ces dernières années, on a commencé à utiliser l'eau de mer pour satisfaire les besoins industriels en eau technique, cela permettra de diminuer la quantité d'eau douce utilisée dans le système de distribution d'eau industrielle, mais comme l'eau de mer possède une composition chimique différente par rapport à l'eau douce (Tableau. 1), elle a les inconvénients suivants:

- Grande teneur en sel;
- Agressivité du métal du béton utilisé;
- Capacité de formation du tartre sur la surface d'échange de chaleur;
- Formation intensive des algues sur la surface des appareils technologiques et des éléments du système d'alimentation en eau industrielle.

| Désignation      | Salinité<br>g/l | Cl <sup>-</sup> | Br <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>++</sup> | Mg <sup>++</sup> |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| Mer Méditerranée | 37.0            | 55.1            | 0.2             | 7.9                           | 0.2                           | 30.6            | 1.1            | 1.2              | 3.65             |
| Mer douce        | 1.5             | 25.1            | -               | 25.1                          | -                             | 5.01            | -              | 10               | 5.01             |

**Tableau 1 :** Salinité et composition chimique % de l'eau de mer Méditerranée et l'eau douce.

On a déjà élaboré plusieurs méthodes pour améliorer ces caractéristiques technologiques de l'eau salée avant de la livrer au système d'eau industrielle afin de lutter contre la formation du tartre, le colmatage et la corrosion du métal qui est en contact avec cette eau.

Dans cet article nous étudions toutes les méthodes de traitement de stabilisation de l'eau de refroidissement (douce ou salée) afin de choisir une qui est simple et efficace. L'expérimentation permet d'étudier cette méthode afin de conclure sur la possibilité de l'utilisation de l'eau de mer dans le système de distribution d'eau industrielle.

## 2 METHODES DE LUTTE CONTRE LA FORMATION DU TARTRE

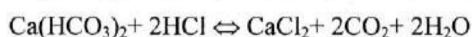
Généralement, on utilise deux méthodes pour le traitement de stabilisation de l'eau circulé dans le système industriel:

- méthodes chimiques;
- méthodes physiques.

L'acidification, la recarbonatation, la phosphatation, l'utilisation des agents tensioactifs et les méthodes combinées (phosphatation, acidification ... etc.) sont les méthodes chimiques. Actuellement on utilise les méthodes sans agents chimiques: qui sont les méthodes physiques, par exemple l'utilisation des rayons ultrasoniques, les forces magnétiques et électriques. Parmi ces méthodes chimiques on utilise la méthode d'acidification dont le principe est décrit ci-dessous.

### 2.1 Acidification

Pour prévenir la formation du tartre sur la surface d'échange de chaleur on utilise l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ou l'acide chlorhydrique (HCl). Pendant l'acidification de l'eau de circulation, une partie des sels de dureté carbonique devient en quantité identique aux sels de dureté non carbonique et facilement soluble.



Comme il suit ces réactions:

- la concentration des bicarbonates dans l'eau diminue, cela contribue à la diminution de la qualité exigée de l'anhydride carbonique;
- l'anhydride carbonique équilibré se dégage pendant les réactions chimiques, contribue à la stabilisation des bicarbonates restants dans l'eau après acidification.

La méthode d'acidification est applicable pour toutes les eaux naturelles.

D'après Koutcherenko, elle permet de diminuer la quantité d'eau douce (eau d'appoint). Pendant le traitement d'eau cyclique, le choix de la dose optimale d'acide joue un rôle important, c'est pourquoi la concentration d'acide sera déterminée par le manque d'alcalinité de l'eau, c'est à dire qu'elle sera précisée selon la diminution de l'alcalinité de l'eau et selon les conditions de stabilisation. Actuellement la méthode d'acidification est la plus répandue, mais elle possède quelques inconvénients spécifiques tels que la difficulté du dosage dans les conditions naturelles, l'agressivité du métal par l'acide utilisé ... etc.

Le dosage de l'acide en (mg/l) peut être calculée par la formule de Koutcherenko (1).

$$D_a = \left( A_{ap} - \frac{A_{cir}}{K_{cs}} \right) \frac{100}{C_a} \quad (1)$$

- $C_a$  : concentration de l'acide dans les acides techniques en %.
- $e$  : masse équivalent de l'acide en (mg/meq) pour l'acide sulfurique  $e = 49$ .
- $A_{ap}$  : l'alcalinité de l'eau d'appoint en (meq/l).
- $A_{cir}$  : l'alcalinité de l'eau de circulation en (meq/l).
- $K_{cs}$  : Coefficient de concentration des sels.

### 3 EXPERIMENTATION

#### 3.1 But et tâches des études expérimentales

Les études expérimentales consistent à relever la vitesse de formation du tartre sur la surface d'échange de chaleur, et la dose d'eau d'appoint. Donc le but de ces études est d'étudier:

- L'influence de la température du système cyclique sur la vitesse de formation du tartre;
- L'influence du régime hydraulique sur la vitesse de formation du tartre ;
- L'influence du PH de la solution d'eau de mer traitée par acidification sur la vitesse de formation du tartre tout en utilisant la méthode d'acidification.

#### 3.2 Méthodologie

On sait que, le processus de l'entartrage est le résultat de différents phénomènes complexes physico-chimiques qui ont lieu dans le système cyclique. Les facteurs qui déterminent les indices qualitatifs et quantitatifs sont:

- Composition chimique de l'eau de mer Méditerranée;
- Turbidité;
- Température;
- Teneur en gaz carbonique (anhydride) dans l'eau utilisée et sa perte dans le processus de refroidissement;
- Régime hydraulique et thermique de fonctionnement du système de refroidissement par eau;
- Quantité d'eau d'appoint.

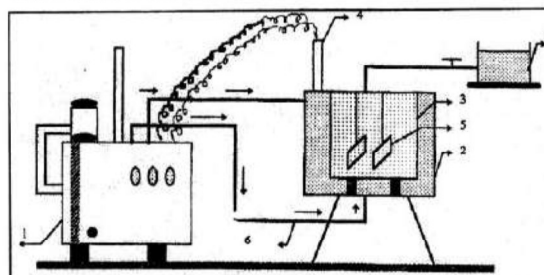
Pour bien étudier le processus de l'entartrage, il est nécessaire de tenir compte de tous les facteurs nommés ci dessus. Néanmoins, l'approvisionnement de toutes les conditions nécessaires dans le laboratoire nous a obligé de simplifier la méthodologie des études expérimentales.

#### 3.3 Description de l'installation expérimentale

Le schéma de l'installation laboratoire donné sur la figure 1 est conçue de la manière suivants:

Le thermostat électrique (1) assure une température nécessaire 40 à 45 °C (puisque la température atteint généralement 45 °C pour le refroidissement industriel). A l'aide d'une pompe, l'eau est aspiré du réservoir d'alimentation (2) puis refoulée dans ce même réservoir de manière à avoir

le modèle du système cyclique fermé. Dans ce réservoir est placé un autre réservoir (3) en verre organique auquel sont placés les échantillons d'essais en acier (5) (c'est à dire qu'on a utilisé le matériau des plaques d'essais qui doit être utilisé réellement dans l'industrie). Le réglage de la température constante est assuré par le biais d'un thermomètre de contact (4). Quand au traitement par acidification, Il est assuré par un bac possédant un robinet de façon à voir les deux régimes de fonctionnement de l'installation : le régime continu et le régime discontinu d'ajout d'eau d'appoint. La quantité d'eau d'appoint représentant la quantité d'eau de mer varie entre 1.24 % et 1.96 % du bilan total d'eau de mer utilisée.



1. thermostat électrique
2. réservoir pour la thermostatisation dégonçante de l'eau de mer
3. réservoir d'accumulation d'eau de mer
4. thermomètre de contact
5. échantillons d'essais
6. système de circulation de l'agent d'échange
7. réservoir d'accumulation d'eau d'appoint

Figure 1 : schéma de l'installation expérimentale

### 4 RESULTATS EXPERIMENTAUX

#### 4.1 Influence de la température sur l'intensité de formation du tartre

Les expériences sont effectuées pour les températures 40°C et 45°C pour le régime continu et discontinu d'ajout d'eau d'appoint. La vitesse de formation du tartre a été déterminée par une méthode gravimétrique après avoir sécher les plaques d'essais dans un four électrique à la température 105°C jusqu'au poids constant.

| Température (°C) | Temps de fonctionnement (heures) | Intensité de formation du tartre (mg/cm².an) | Alcalinité (meq/l) | Concentration HCO3 (mg/l) |
|------------------|----------------------------------|----------------------------------------------|--------------------|---------------------------|
| 35               | 27                               | 337.6                                        | 3.5                | 212.2                     |
| 40               | 27                               | 460.5                                        | 3.0                | 183.0                     |
| 45               | 27                               | 567.9                                        | 2.5                | 152.5                     |

Tableau 2 : vitesse de formation du tartre pour un régime discontinu en fonction de la température

La figure (2) représentant l'intensité de formation du tartre en fonction de la température montre que: l'augmentation de la température dans le système cyclique entraîne une augmentation de l'intensité de formation du tartre.

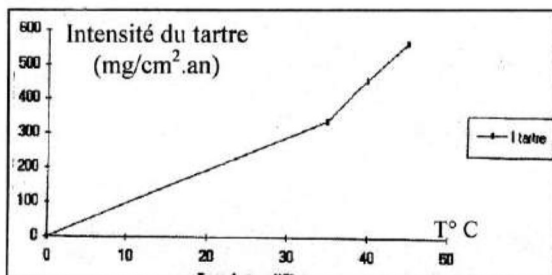


Figure 2 : Influence de la température sur l'intensité de formation du tartre

D'après le tableau (2) on peut dire que la concentration des ions  $\text{HCO}_3$  diminue, pendant l'accroissement de la température. C'est ce qui explique bien l'augmentation de la vitesse de formation du tartre sur les échantillons d'essais puisque l'alcalinité de l'eau de mer diminue.

#### 4.2 Influence du régime hydraulique sur la formation du tartre

Les expériences sont effectuées pour les régimes continu et discontinu. Le régime continu représente un ajout d'eau d'appoint continu soit donc goutte à goutte pendant le fonctionnement de l'installation expérimentale. Le régime discontinu représente l'ajout de l'eau de mer évaporée périodiquement pendant chaque 6 heures de fonctionnement de l'installation expérimentale. Le tableau (3) donne la variation de la vitesse de formation du tartre pour les températures 40°C et 45°C pour un régime continu d'ajout d'eau d'appoint.

| Température (°C) | Temps de fonctionnement (heures) | Intensité de formation du tartre (mg/cm².an) | Alcalinité (meq/l) | Concentration $\text{HCO}_3$ (mg/l) | PH Final |
|------------------|----------------------------------|----------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|----------|
| 35               | 27                               | 490.7                                        | 3.2                | 172.6                               | 5.2      |
| 40               | 27                               | 551.8                                        | 3.0                | 183.0                               | 4.8      |
| 45               | 27                               | 617.6                                        | 2.7                | 195.2                               | 4.5      |

Tableau 3 : Variation de la vitesse.

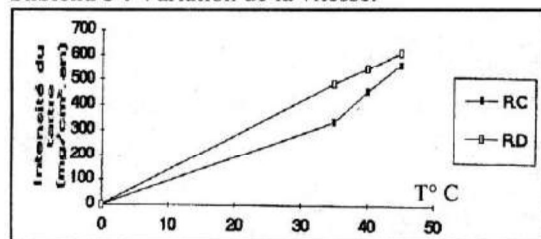


Figure 3 : Influence du régime hydraulique sur l'intensité de formation du tartre.

La figure (3) montre que l'augmentation de la température de l'eau de circulation contribue à l'augmentation de l'intensité de formation du tartre pour les deux régimes d'ajout d'eau d'appoint. Mais la vitesse de formation du tartre est très progressive pour le régime continu que pour le régime discontinu. Pratiquement ce phénomène s'explique de la façon suivante :

Pour le régime discontinu les particules du tartre n'auront pas suffisamment de temps de se former sur les parois des plaques d'essais puisque

l'ajout l'eau d'appoint se fait périodiquement. Par contre pour le régime continu, la concentration des sels augmente continuellement puisque l'ajout d'eau d'appoint se fait continuellement. Ce résultat se justifie et s'assure par la diminution de l'alcalinité lorsque la température de l'eau de circulation augmente.

#### 4.3 Influence du PH de l'eau de circulation

Les expériences seront effectuées pour le régime continu et pour différentes doses d'acide sulfurique données par le tableau (4)

| T(°C) | PH d'eau d'appoint | Temps (h) | Intensité de tartre (mg/cm².an) | Intensité de corrosion (mg/cm².an) | PH d'eau de circulation | Alcalinité (meq/l) | Concentration $\text{HCO}_3$ (mg/l) |
|-------|--------------------|-----------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------------------|
| 40    | 4.0                | 19        | 91.5                            | 578.0                              | 9.3                     | 1.5                | 91.6                                |
|       | 5.2                | 19        | 122.6                           | 402.9                              | 9.2                     | 2.8                | 170.8                               |
|       | 6.0                | 19        | 242.0                           | 198.7                              | 9.3                     | 2.6                | 156.6                               |
|       | 7.9                | 27        | 551.8                           | -                                  | 4.8                     | 2.7                | 195.2                               |
| 45    | 3.0                | 19        | 166.4                           | 631.2                              | 6.8                     | 2.0                | 122.0                               |
|       | 6.0                | 19        | 268.6                           | 335.8                              | 9.2                     | 3.0                | 183.0                               |
|       | 7.9                | 27        | 617.6                           | 297.8                              | 4.5                     | 2.7                | 195.0                               |

Tableau 4 : Influence du PH de l'eau.

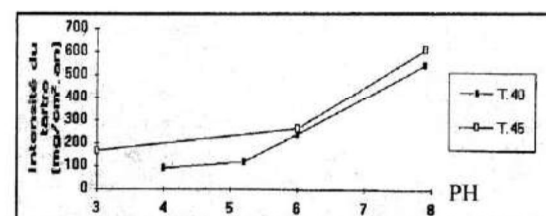


Figure 4 : Influence du PH d'eau d'appoint sur la vitesse de formation du tartre.

L'analyse de la figure (4) montre que l'intensité de formation du tartre diminue avec l'augmentation de la dose d'acide dans l'eau d'appoint mais au contraire la vitesse de corrosion augmente. Pratiquement pour avoir le remède à ce phénomène de corrosion on ajoute les inhibiteurs de corrosion. Pour un PH d'eau d'appoint de 4 et une température de 40°C de l'eau de circulation, l'intensité de formation du tartre est minimale (0.1g/m an).

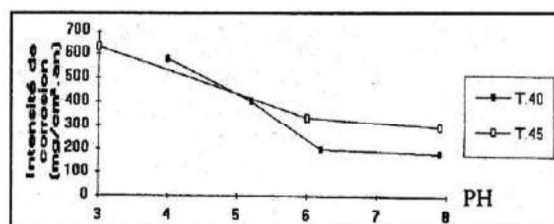


Figure 5 : Influence du PH d'eau d'appoint sur la vitesse de corrosion.

La figure (5) montre que l'augmentation de la dose d'acide entraîne une augmentation de l'intensité de la vitesse de corrosion des échantillons. Pour dose d'acide correspondant à un PH=5.5, la vitesse de corrosion pour les deux températures est la même. Elle est de l'ordre de 350 mg/cm².an. Cette dose nous permet de contrôler le phénomène de corrosion pour les deux températures. Pratiquement pour avoir le remède à ce phénomène de corrosion, on ajoute à la solution d'acide des inhibiteurs de corrosion.