

Université Mohamed Khider Biskra
Faculté de Science et de Technologie
Département de Chimie industrielle



Domaine : Sciences et techniques
Filière : Génie des procédés

Spécialité : Master 1
Génie de l'environnement

Polycopié de la matière

Traitement et conditionnement des eaux de process

Cours

Fait par : Dr. HAMDJ Ines

Maître de conférences « A »
2020/2021

I.1. Introduction

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

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

- La production d'une tonne d'acier utilise 150 tonne d'eau ;
- La production d'une tonne de papier nécessite 25 m³ d'eau ;
- La production d'énergie électrique demande 3 m³/MWh pour la vapeur et 60 m³/MWh pour le refroidissement ;

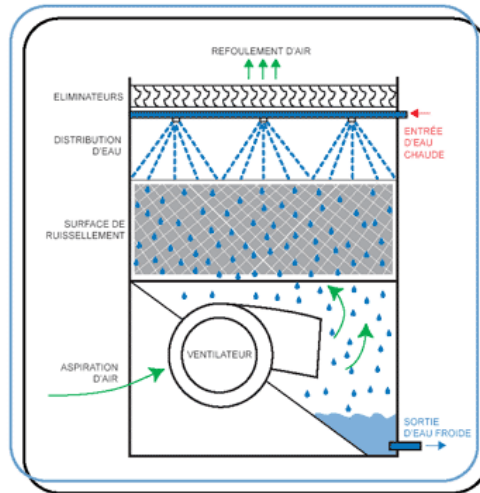
Au total, ces consommations pour le monde entier sont plusieurs fois supérieures aux consommations domestiques, et cette disproportion est d'autant plus grande que le pays es plus industrialisé



I-1-1-TYPES D'ÉQUIPEMENTS DE REFROIDISSEMENT

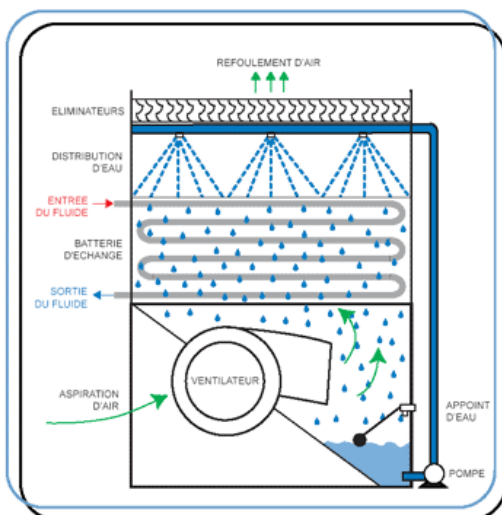
I-1-1-1-Tour de refroidissement ouverte

La tour ouverte est l'équipement évaporatif qui offre les plus grands avantages en matière de rendement, d'encombrement, de coût unitaire et de **consommation énergétique**, présentant également le poids d'installation le plus faible.



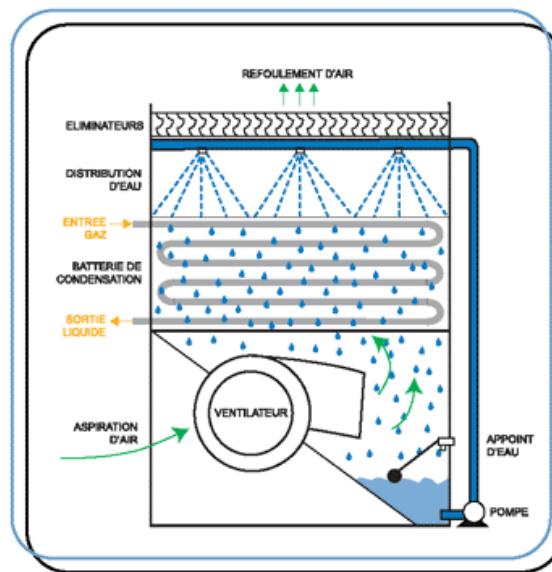
I-1-1-2-Tour de refroidissement à circuit fermé

En matière de gestion du risque, la tour fermée avec échangeur arrosé offre donc de nombreux avantages. Ce principe permet ainsi de confiner l'eau de pulvérisation à la seule tour de refroidissement. Le circuit primaire est fermé et totalement confiné, sans entrer en contact avec l'air. L'eau de pulvérisation ne peut donc pas être contaminée par les bactéries qui se développent dans les bras morts des tuyauteries ou dans les autres équipements externes au refroidisseur évaporatif (ex. condenseur).



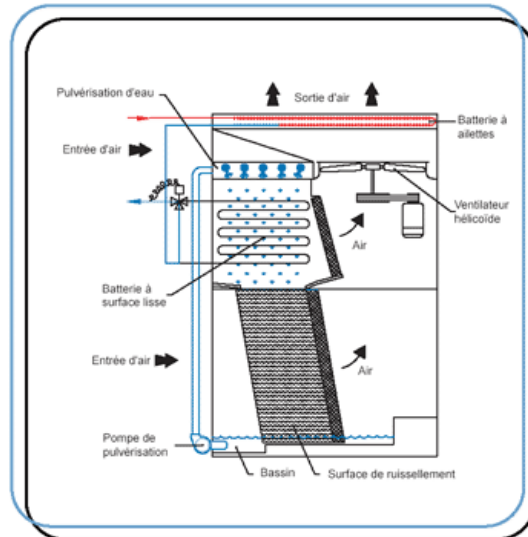
I-1-1-2-1-Condenseurs évaporatifs

Les condenseurs évaporatifs sont de construction équivalente à celle des tours de refroidissement à circuit fermé. En lieu et place d'une surface d'échange dans une tour de refroidissement conventionnelle, on trouve une batterie de condensation dans laquelle circule le frigorigène



I-1-1-3-Tour de refroidissement à circuit fermé Hybride

Les systèmes de refroidissement hybrides conjuguent le meilleur des deux systèmes: le refroidissement évaporatif en été, alliant température basse et consommation d'énergie inférieure et le refroidissement sec dans les saisons plus fraîches.



I-1-1-4-Evaluation des tours

1. Variation

Différence entre T entrée et T sortie eau:

Grande variation = bonne performance

2. Approche

Différence en T de sortie eau et T ambiante humide:

Faible approche = bonne performance

3. Efficacité

Efficacité en % = $\text{Variation} / (\text{Variation} + \text{Approche}) = 100 \times (T \text{ eau entrée} - T \text{ eau sortie}) / (T \text{ eau sortie} - T \text{ ambiante humide})$

Grande efficacité = bonne performance

4. Capacité de refroidissement

= Débit massique eau X Chaleur spécifique X différence de température

Grande capacité de refroidissement = bonne performance

I-1-1-4-1--puissance thermique d'une tour de refroidissement

La puissance thermique d'une tour de refroidissement* (en kW) est donnée par la formule suivante :

$$P = \dot{m} \times C_p \times \Delta T$$

où $\dot{m} = Q / 3,6$ est le débit massique en kg/s et avec :

Q : débit d'eau circulant dans la tour de refroidissement (en m³/h)

Cp : capacité thermique massique de l'eau (en kJ/kg/K)

DT : écart de température entre l'eau chaude et l'eau refroidie (en K)

Exemple :

Débit d'eau Q : 180 m³/h, soit un débit massique de 50 kg/s

Régime d'eau : 32/27°C soit un écart DT de 5 K

Cp : 4,186 kJ/kg/K

D'où une puissance échangée par la tour de refroidissement : $P = 50 \times 4,186 \times 5 = 1046 \text{ kW}$

I.2. Conservation de la matière première : l'eau

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

Economiquement, l'utilisation directe de l'eau n'est pas toujours possible. L'eau entrant dans les installations industrielles doit être traité et cela est coûteux. En plus de nombreux pays ont mis en place une réglementation obligeant les industriels à réduire leurs prélèvements d'eau naturelle et de ce fait à recycler et réutiliser d'avantage l'eau.

I.3. Conservation de l'énergie

La conservation de l'énergie dépende du type d'énergie concernée, mais dans une chaîne industrielle de production, il faut assurer la maîtrise de l'énergie.

Dès un équipement tel un échangeur de chaleur par exemple, ne fonctionne pas dans les conditions pour lesquelles il a été calculé, il y a gaspillage d'énergie.

Les différents systèmes de refroidissement par eau sont utilisés pour détecter les points de consommation d'énergie, donc où peuvent se réaliser des économies d'énergie.

II.1. Position du problème

Corrosion, tartre et dépôts nuisent au bon fonctionnement des chaudières et provoquent une dégradation du transfert thermique, des pannes d'équipements et une augmentation des coûts énergétiques.

II.1.1 La Corrosion

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

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

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

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

- Corrosion uniforme ;
- Corrosion localisée.

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

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

Inhibiteurs organiques dont les principaux sont : Phosphates, Thiazoles, Triazoles, amines filamantes et Tannins.



II.1.2 L'Entartrage

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

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

- Procédé soustractifs : élimination d'un ou des ions formateurs de tartres par des résines échangeuses ou par la décarbonatation à le chaud ;
- Procédés additifs : ajouter des substances qui vont reculer le produit de solubilité, ou altérer le processus de croissance des cristaux, ou disperser les cristaux formé (solubilisation par acidification, ou par agents chélatants).



II.1.3 Le Primage

C'est l'entraînement d'eau et des matières minérales par la vapeur. Il se forme des bulles de mousse ou de vapeur qui éclatent et libèrent des gouttelettes de liquide.

Le conditionnement anti primage est actuellement assuré par deux classes de réactifs :

- Les polyamides à longue chaîne et haut poids moléculaires.
- Les polyéthylènes et propylène glycols.

II.2. Spécifications des eaux de chaudières

Pour les eaux destinées à des usages non alimentaires tel que le cas d'une chaudière, ces analyses portent généralement sur les paramètres suivants : - Gaz dissous - Dureté - Alcalinité - Salinité - Teneur en silice – Turbidité.

Pour une chaudière, certaines analyses non obligatoires peuvent être faites telles que la teneur en fer, en phosphates, le potentiel hydro-électrique (PH).

La variation du pH de l'eau pure en fonction de la température est représentée par le tableau :

T °C	0	50	100	160	200	250
pH	7.5	6.6	6.1	5.8	5.7	5.5

Tableau I.4 : Concentrations limites dans les eaux potables

Corps chimiques	Concentration maximale (en milligrammes par litre)
Composés phénoliques	0
Chrome hexavalent	0
Cyanures	0
Sélénium	0,05
Arsenic et composés	0,05 (d'arsenic)
Plomb	0,1
Fer et manganèse (ensemble)	0,3 (dont 0,2 de fer)
Fluorures	1 (de fluor)
Cuivre	1
Zinc	5
Nitrates	10 (d'azote)
Magnésium et composés	125 (de magnésium)
Chlorures	250 (de chlore)
Sulfates	250 (d'ion SO ₄)

II.2.1 Les impuretés de l'eau

II.2.1.1 Solides en suspension

Il s'agit des particules solides de densité supérieure à celle de l'eau, elles ne restent en suspension que parce que l'eau est en mouvement : plus la vitesse de l'eau est grande, plus les particules en suspension peuvent être grosses.

II.2.1.2 Solides dissous

Les solides dissous sont :

- Les bicarbonates : Ca(HCO₃)₂, Mg(HCO₃)₂, NaHCO₃, Fe(HCO₃)₂ et Mn(HCO₃)₂
- Les chlorures : CaCl₂, MgCl₂ et NaCl.
- Les sulfates : CaSO₄, MgSO₄, Na₂SO₄.
- Les silicates : Na₂SiO₃, H₂SiO₃.

On trouve aussi les fluorures, les nitrates et les nitrites.

II.2.1.3 gaz dissous

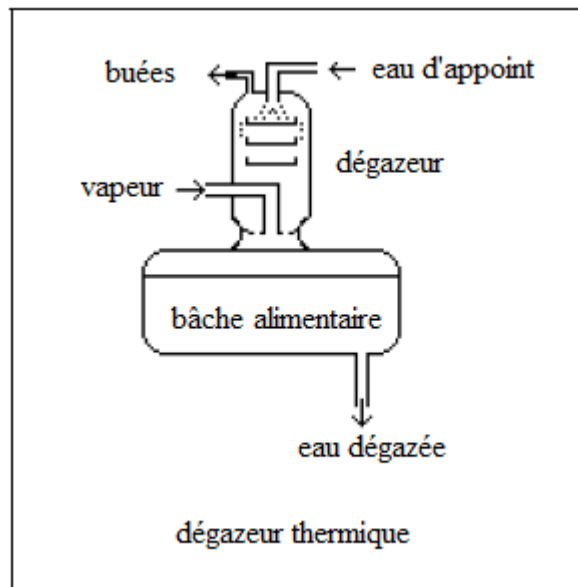
Les principaux gaz dissous rencontrés dans les eaux naturelles sont : l'oxygène O₂, le gaz carbonique CO₂, l'azote N₂ et le gaz sulfhydrique H₂S.

II.3. Compléments sur le traitement des eaux de chaudières

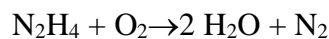
II.3.1. Dégazage

L'eau déminéralisée contient des quantités variables d'oxygène et de dioxyde de carbone qui peuvent provoquer de graves corrosions sur les éléments métalliques des générateurs de vapeur. Parmi les techniques disponibles pour éliminer ces gaz, le dégazage thermique est largement répandu.

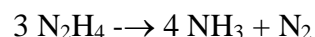
Le dégazage est assuré en portant à ébullition l'eau alimentaire, ce qui permet de diminuer la pression partielle de O_2 et CO_2 . Les gaz libérés sont alors rejetés dans l'atmosphère, soit par décharge à travers un évent si la pression du dégazeur est supérieure à la pression atmosphérique, soit par extraction par une pompe à vide si elle est inférieure.



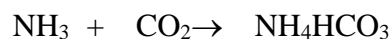
Le dégazage peut être assuré par voie chimique. Le réactif utilisé pour extraire l'oxygène est l'hydrazine (N_2H_4) :



L'excédent d'hydrazine se décompose quant à lui dans la chaudière en azote et en ammoniac :



L'ammoniac emporté par la vapeur contribue à relever le pH des condensats, et se combine avec le gaz carbonique pour produire du bicarbonate d'ammoniac.



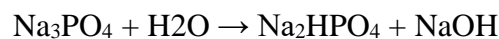
On peut utiliser aussi le sulfite de sodium (NaSO_3).

Pour l'élimination du CO_2 on utilise l'ammoniaque NH_4OH , mais ce réactif peut attaquer les alliages de cuivre. On peut utiliser également les amines volatiles thermiquement stables (morpholine, benzylamine, cyclohexylamine...)

L'utilisation du dégazage chimique est limitée aux installations de petite taille, ou encore comme complément à un dégazage thermique.

II. 3.2. Traitement aux phosphates

Cette technique est utilisée pour assurer un pH alcalin dans l'eau de chaudière. Elle consiste en l'addition de phosphate trisodique (Na_3PO_4) en mélange avec du phosphate disodique (Na_2HPO_4) qui libère de la soude, provoquant l'augmentation du pH.



Différentes stratégies de traitement utilisant les phosphates de soude sont proposées; elles visent à:

- maintenir un pH suffisant ;
- éviter une corrosion caustique due à un excès de soude localisé ou généralisé ;
- éviter la précipitation de phosphate sur les surfaces chaudes.

Les paramètres à contrôler sont:

- teneur en phosphate ;
- pH ;
- ratio Na/PO_4 ;
- bilan entrées/sorties de phosphate.

II.3.3. Inhibiteurs de corrosion

Les inhibiteurs de corrosion sont des produits chimiques qui, ajoutés à l'eau ou tout autre fluide de process, réduisent la vitesse de corrosion. On les classe habituellement en :

inhibiteurs anodiques, cathodiques, filmants et absorbeurs d'oxygène, suivant leur mode d'action. L'efficacité de la plupart des inhibiteurs de corrosion est considérablement influencée par les caractéristiques chimiques de l'eau et les conditions physiques comme la température et la vitesse d'écoulement.

II.3.4. Conditionnement anti-primage

Le réactif utilisé est l'ERPAMOUSSE BM. Il est élaboré à partir de polyalcools et de polyamides. Il permet de diminuer la viscosité de l'eau en calmant le plan d'eau et en abattant les mousses. Il permet le dégagement facile de la vapeur d'eau et une meilleure régularisation des concentrations alcalines et salines dans la masse d'eau.

La formation de mousse et l'entraînement des bulles d'eau par la vapeur sont empêchés et la chaudière est ainsi protégée contre le primage.

L'ERPAMOUSSE BM se présente sous forme d'émulsion de consistance liquide de couleur brune miscible à l'eau. Avant l'emploi, il est agité ceci permet d'obtenir une solution homogène. Le réactif est contenu dans des tonnelets de 30 litres et il est stocké à une température supérieure à 50 C. Il est dosé à raison de 10 Cm³/m³ d'eau d'alimentation et 0,4 litres toutes les 8 heures.

II.4.1. Chaudières basses pressions

La limite supérieure est 30 bars ce qui conduit à des températures d'ébullition <230°C. En fonction de la qualité de l'eau brute, 2 cas sont possibles :

A. Appoint à partir d'une eau très douce :

- Traitement interne par Na₃PO₄ (précipitation des traces de dureté et contrôle de pH) et un dispersant (maintien des Ca₃(PO₄)₂ en suspension et contrôle de pH)
- Purges calculées pour limiter les MES, la salinité totale et l'alcalinité.
- Réduire la concentration en oxygène (utilisation du sulfite ou dégazage thermique).

B. Appoint à partir d'une eau normalement dure :

- Adoucissement en cycle sodium (TH = 0 et TAC inchangé) et purge de déconcentration si le rapport TAC autorisé en chaudière sur TAC de l'appoint conduit à un taux de purge acceptable économiquement,

- Décarbonatation à la chaux ($TAC = 2-6^{\circ}f$) et adoucissement sur résines en cycle sodium ($TH = 0$). Le programme de purge vise à contrôler la salinité totale acceptable dans la chaudière puisque la salinité permanente est inchangée avec ces traitements.

II.4.2. Chaudières moyennes pressions

Les moyennes pressions approximativement 30 à 70 bars ce qui conduit à des températures d'ébullition comprises entre 230-290°C. Le risque d'entraînement de la silice en phase vapeur se posera au-dessus de 40 bars (250°C).

a. Traitement externe

Après clarification éventuelle, il y a trois possibilités :

1. Décarbonatation à la chaux avec désiliciage surtout si la fraction d'eau d'appoint est importante ($TAC = 1 \text{ à } 2^{\circ}F$, SiO_2 résiduelle = 1 à 2 mg/l), couplée à adoucissement sur résine en cycle de sodium ($TH = 0$).
2. Décarbonatation sur résine carboxylique suivie d'un dégazage, puis un adoucissement sur résine cationique forte en cycle de sodium.
3. Déminéralisation simple sur un couple d'échangeur cationique forte- anionique forte si la salinité totale de l'eau brute est élevée, l'échange cationique pourra être divisé en deux étapes : passage sur une résine carboxylique faible puis, après dégazage, sur une résine cationique forte.

b. Traitement interne

1. Réduction complémentaire de l'oxygène dissous par adjonction d'hydrazine ou de sulfite de sodium,
2. Neutralisation dans les condensats des traces de CO_2 restant par adjonction d'amines volatiles.
3. Conditionnement du pH en chaudière par un mélange $Na_3PO_4-Na_2HPO_4$,
4. Un réducteur de primage et/ou un dispersant.

II.4.3. Chaudières hautes pressions

Traitement interne

- Dégazage thermique associé à un conditionnement par l'hydrazine pour éliminer les traces de O_2 .
- Addition d'amines volatiles pour lutter contre la corrosion des circuits de condensats par le CO_2 passé en phase vapeur.

- Le traitement aux amines grasses assure une légère réaction basique et le compléter par de très faibles quantités de $\text{Na}_3\text{PO}_4\text{-Na}_2\text{HPO}_4$, pour être certain de rester dans la zone de bonne tenue à la corrosion.

II.4.4. Traitement des condensats avant recyclage

Les condensats résultent de la condensation de la vapeur d'eau présente dans les produits de combustion. Une partie du CO_2 émis lors de la combustion se dissout dans l'eau et se transforme en acide carbonique faisant ainsi chuter le PH (le pH peut atteindre 2,5) de ce sous-produit. L'agressivité des condensats issus de la condensation des gaz de chauffe dépend essentiellement de la teneur en soufre du combustible.

Ces condensats produits dans la chaudière elle-même et également dans le conduit d'évacuation des fumées peuvent représenter un volume d'eau important, jusqu'à 4 litres/h pour une chaudière de 26 kW, selon sa conception et le type d'émetteur de chaleur. Généralement, ces condensats sont ensuite évacués à l'égout, idéalement en ayant été débarrassés de leur acidité.

La plupart des fabricants proposent en option une solution de traitement des condensats indépendante, à placer sous la chaudière ou pouvant être intégrée à celle-ci. L'eau qui s'écoule de la chaudière à condensation traverse alors un réservoir contenant des billes composées de carbonate de calcium ou de magnésium (neutraliseur de condensats), qui vont faire remonter (neutraliser) le pH de l'eau et le rétablir entre 6 et 8 avant sa mise à l'égout.

III.1. Position du problème

L'eau de refroidissement refroidit l'unité en fonctionnement, il peut générer des actions, le plus souvent indésirables :

- Produire du tartre, le colmatage, corroder les échangeurs de chaleur, les revêtements intérieurs, les pompes, les vannes ...ect
- Fournir un milieu favorable à la croissance de micro-organismes.

Les principaux axes de développement du traitement des eaux de refroidissement sont :

- La réduction de la consommation d'eau ;
- L'augmentation de la durée de vie des équipements ;
- La limitation de l'impact sur l'environnement ;

III.2. Les circuits de refroidissement

Les principaux équipements à refroidir sont les :

- condenseurs et échangeurs thermiques ;
- réfrigérants d'huile, d'air, de gaz, de liquides ;
- moteurs, compresseurs ;
- hauts-fourneaux, fours, laminoirs, coulées continues, convertisseurs ;
- réacteurs chimiques ;

Il existe trois circuits différents :

III.2.1 Circuits ouverts

Ce sont des circuits sans recirculation d'eau ou systèmes à passage unique. L'eau chauffée par ce procédé industriel étant rejetée dans le milieu naturel. L'une des caractéristiques principales de ce type de circuit est la quantité relativement importante d'eau qui est généralement nécessaire au refroidissement. Les problèmes les plus fréquemment rencontrés sont les dépôts de tartre.

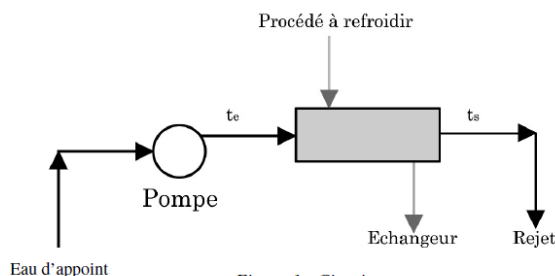


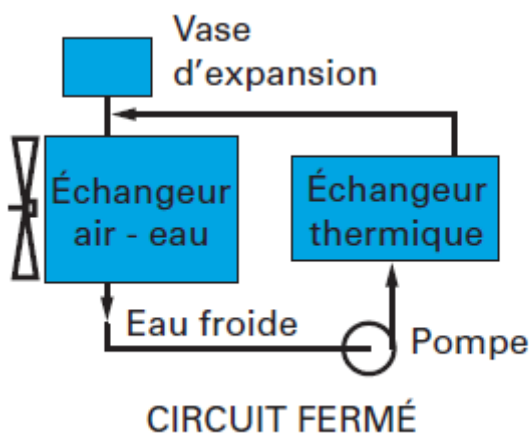
Figure 1 : Circuit ouvert

III.2.2 Circuits totalement fermés

Les circuits fermés sont en réalité constitués par deux systèmes liés thermiquement ; l'un complètement fermé sert à faire circuler l'eau et à refroidir le procédé par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur, l'autre, appelé aussi circuit secondaire, sert à refroidir l'eau réchauffée.

L'avantage de ce procédé est qu'il ne consomme théoriquement pas d'eau. Il est aussi très facile de maintenir une composition homogène de cette eau dans tous les points du circuit. La formation de dépôts de tartre est très limitée. Il ya deux inconvénients :

- Dispositif de refroidissement assez volumineux ;
- Obtention d'une température « basse » relativement élevée.



III.2.3 Circuits semi-fermés

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

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

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

- à **tirage forcé ou induit** : l'air est aspiré à travers la tour par un ventilateur situé au sommet de la tour. Ce type de tour est très fréquent. Dans ce type de tours, l'air circule à contre-courant de l'eau à refroidir.

III.3. Problèmes posés par les circuits de refroidissement

Puisque les circuits de refroidissement ont pour mission de refroidir des produits ou des unités de process par l'intermédiaire d'échangeurs de chaleur, tout phénomène ou processus capable de diminuer le rendement de cette opération doit être maîtrisé : c'est le cas de corrosion, l'entartrage et des proliférations biologiques (Salissures).

III.3.1 Entartrage

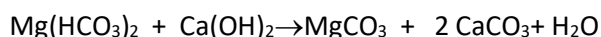
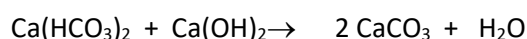
L'entartrage se produit toutes les fois que la concentration d'un sel est supérieure à sa limite de solubilité. Les tartres se déposent sous forme de dépôts généralement sur une surface chaude (la solubilité étant plus faible à chaud qu'à froid). Les sels produisant les tartres le plus souvent dans les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

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

- **Procédé soustractifs** : (adoucissement) élimination d'un ou des ions formateurs de tartres par des résines échangeuses :



ou par la décarbonatation à la chaud :



- **Procédés additifs** : ajouter des substances qui vont reculer le produit de solubilité, ou altérer le processus de croissance des cristaux, ou disperser les cristaux formés.
- Solubilisation par acidification :



- Solubilisation par agents chélatants : comme l'EDTA et le NTA (acide nitrile-tri-acétique)
- Addition de produits dispersants antitartres.

III.3.2 Corrosion

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

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

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

- Corrosion uniforme ;
- Corrosion localisée.

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

- Inhibiteurs anioniques (anodiques) dont les principaux sont : Orthophosphates, nitrites et orthosilicates ;
- Inhibiteurs cathodiques dont les principaux sont : Polyphosphates, zinc, molybdates et polysilicates ;
- Inhibiteurs organiques dont les principaux sont : Phosphates, Thiazoles, Triazoles, amines filamantes et Tannins.

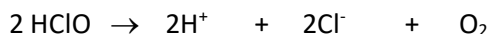
Actuellement, les mélanges les plus courants sont les mélanges zinc-phosphate ou carboxy-phosphate seul.

III.3.3 Salissures (Prolifération ou encrassement ou colmatage biologique)

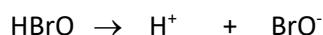
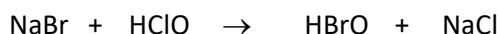
Les conditions qui règnent dans les systèmes de refroidissement sont le plus souvent propices au développement de microorganismes, pH assez voisin de la neutralité, température tropicale, abondance des sels minéraux et de composés organiques servant de nutriments et lumière pouvant couvrir les besoins pour la photosynthèse dans les tours.

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

- Chloration et produits chlorés : l'emploi du chlore ou de l'hypochlorite



- Bromation : cet opération offre un certain nombre d'avantage par rapport à la chloration. L'action du brome est plus rapide que celle du chlore. Il est moins volatile et est maintenu longtemps en solution.



La bromation est plus efficace au pH élevé et l'acide hypobromeux est moins corrosif que l'acide chloreux et moins nocif pour l'environnement. Mais l'inconvénient est le coût qui est deux fois plus élevé.

- Biocides organiques.

III.4. Traitement des eaux de refroidissement

Traitement de l'appoint

Les eaux d'appoint, toujours minéralisées, et parfois polluées biologiquement (par nature ou par apport extérieur) conduisent souvent à trois types de problèmes : L'entartrage ; La corrosion ; Les proliférations biologiques. Pour qu'une eau soit utilisée en circuit de refroidissement, elle doit remplir les conditions représentées dans le tableau 1.

- Les ions chlorure ont une influence considérable sur le comportement corrosif de l'eau.
- les sulfates favorisent, à même titre que les ions chlorure, la corrosion sur des matériaux métalliques.
- afin d'éviter la formation de dépôts il faut que la dureté de l'eau d'appoint ne soit pas trop élevée.

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

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

Caractérisation du circuit de refroidissement

La fonction de cette tour de refroidissement est uniquement de refroidir de l'eau chaude. On fait circuler l'eau refroidie ainsi obtenue jusqu'à l'unité en fonctionnement, où son rôle est d'éliminer la chaleur produite dans cette unité. De ce fait, l'eau refroidie redevient chaude et est renvoyée à la tour de refroidissement pour être refroidie et recyclée. Cette eau est refroidie au moyen d'un contact intime avec l'air par deux processus :

- **Conduction** : la chaleur provenant de l'eau chaude est transférée par contact à l'air plus froid. Ceci représente environ 15 à 25 % de l'échange total de chaleur.
- **Evaporation**: En pratique, la quantité d'eau évaporée par heure se situe entre 1 et 3 % de la quantité d'eau circulée pour une différence de température de 10 C°, cette quantité variant suivant l'état hygrométrique de l'air, la température d'entrée de l'eau et aussi suivant la conception du réfrigérant.

Références

[1] https://www.solairecollectif.fr/photo/img/Froid%20solaire/Fiches%20techniques%20comp osants/04_Systemes_refroidissement.pdf.

[2] F. Gassmann, M. Tinguely, D. Haschke, calculs de panaches de tours de refroidissement pour des situations de haute pression hivernales, rapport complémentaire du rapport final sur le projet climod, wiirenlingen,1982.

[3] https://almeco.eu/fr/system/files/files/downloads/air-c-tg_data_sheet_fr_almeco.pdf

[4] <https://www.univ-biskra.dz/enseignant/bensaada/corrosion.pdf>

[5] <https://www.eurowater.com/fr/unites-de-traitement-deau/unites-daeration/degazeur-sous- vide>