وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي « برج بوعريريج »

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم علوم المادة

Université Mohamed El Bachir Elibrahimi – Bordj Bou ArreridjFaculté des Sciences et de la Technologie

Département Sciences de la Matière



Mémoire de fin d'études

PRESENTE EN VEU DE L'OBTENTION

DU DIPLOME DE : LICENCE

Filière : physique

Option : physique Energétique

THÈME

L'entartrage et le colmatage dans l'échangeur de chaleur

Préparé par : Mâaoui Barkahoum.
Belazzoug Hafsa.
Belarbi soumaya

Dirigé par : Dr. DAOUDI Salim

Soutenu le :

Année universitaire 2014-2015

Remerciements

Tout d'abord nous remercions Allah le tout

Puissant qui nous a éclairées vers le bon chemin.

Nous remercions particuliérement monsieur le docteur ***DAOUDI SALIM*** *pour la confiance qu'il nous témoignons ainsi que l'iutérét constant qu'il a porté à notre travail.*

Nous sincéres remerciements vont aux membres du jury.

Toute nous amitiés va vers notre collégues d'études pour leur aide et la bonne ambiance qu'ils ont su créer tout ou long de ces trois ans

En fin nous remercions tous les professeurs de la faculté des Sciences et de la Technologie de l'université de Mohamed El Bachir Elibrahimi.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mon père Ma mère qui est la source de l'amour et qui m'a donné la confiance.

Que dieu les protège !

A mes sœurs et mes frères et A toute la famille BELAZZOUG.

A toutes mes amies qui sont loin ou proche.

A tous ceux qui m'ont aidés et m'encouragés tout au long de mes études.

A tous ceux que j'aime et que je respecte.

A tous les enseignants et les étudiants de l'université de BBA.

Dédicace

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents ma mére

Et mon pére pour leur patience,

Leur amour, leur soutien et leurs

Encouragements.

Ames fréres &ma sœur, en témoignage

De la fraternité avec mes souhaits

De bonheur de santé & de succés.

Et à tous les membres de Ma famille

Ames amies et mes camarades.

Màaoui

SOMMAIRE

Introduction Générale
Chapitre I : **Rappel sur transfert de chaleur**
1. Introduction……. 1
1.1 Transfert de chaleur par conduction…….. 1
1.2 Transfert de chaleur par convection…… 2
- La convection forcée ……. 3
- La convection naturelle (ou libre) …….. 3

1.3 Transfert de chaleur par rayonnement…….. 3
Conclusion…….. 5
Chapitre II : Colmatage et l'entartrage dans les échangeurs de chaleur

Chapitre II : Première Partie
Rappelle sur les Echangeurs de chaleurs

1. Introduction…….. 6
2. Définition de l'échangeur……. 6
3. Classification…… 6
.
4. Méthode des différences de température la logarithmiques moyennes DLMT…… 6
5. Nombre d'unités de transfert (NUT)……..... 7
6. Efficacité d'un échangeur……..... 7
7. Relation entre NUT et efficacité…….. 8
8. Les échangeurs à faisceaux complexes…… 8

8.1. Echangeur tubulaires……... 8
8.2. Echangeurs à courant croisés……..... 11
8.3. Echangeurs a plaques…… 12

Chapitre II : deuxième partie problématique de l'entartrage **…….** 13
1. Introduction……. 13
2. Définition de colmatage……... 14

2.1 Conséquences du colmatage……... 14
3. Définition l'entartrage……. 14

3.1 Les Conséquences de l'entartrage…….. 14
- ❖ Conséquences hydrauliques …….. 14
- ❖ Conséquences bactériologiques…… 14
- ❖ Conséquences technologiques…….. 14
- ❖ Conséquences énergétiques et thermique…… 15

4. Les principaux éléments dissous dans l'eau…… 15
   - ➢ Calcium…… 15
   - ➢ Magnésium…….. 15
   - ➢ Potassium…… 15
   - ➢ Sodium…… 15
   - ➢ Chlorure…….. 16
   - ➢ Fer……..... 16
   - ➢ Manganèse…… 16
   - ➢ Nitrate…….. 16
   - ➢ Nitrites…… 16
   - ➢ Plomb…….. 16

- Chromes…… 16
- Cadmium…… 16
- Odeur et goût…… 17

5. L'entartrage et la dureté de l'eau…… 17
   a. La dureté de l'eau…… 17
   - Dureté calcique et magnésienne…… 17
   - Dureté carbonatée et non carbonatée…… 17

   b. L'entartrage et le titre alcalimétrique (TA et TAC)…… 19
   c. L'entartage et le titre hydrométrique(TH)…… 19
6. Les indices d'entartrage…… 20
   a. Indice de saturation…… 20
   b. Indice de stabilité…… 20
7. Paramètres de l'entartrage…… 21
8. Influence de la nature de la canalisation…… 21
9. Différents types de tartre…… 21

- Tartre alcalin…… 21
- Tartre non alcalin…… 22
- L'oxyde de fer et de cuivre…… 22
- Silicates…… 22

10. Le phénomène d'entartrage et ses effets sur les échangeurs de chaleur…… 22

Conclusion…… 24

Chapitre III : Osmose inverse…… 25

1. Introduction…… 25
2. Osmose inverse…… 25
3. Principes de l'osmose inverse …… 25
4. Phénomène d'osmose et osmose inverse…… 26

5. Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse…… 26

- Taux de conversion…… 26
- Sélectivité…… 27
- Débit spécifique ou densité du flux volumique…… 27
- Mécanisme de transfert…… 27

6. Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse…… 27

- Pompe haute pression…… 27
- Modules d'Osmose Inverse à spirales bobinées…… 28

7. Membranes d'osmose inverse…… 28

- Définition…… 28
- les membranes tubulaires…… 28
- les membranes Planes…… 28
- Les membranes composites : (Thin Film Composite, TFC)…… 29

8. Les caractéristiques des membranes…… 30
9. Types de membranes…… 30
   - les membranes semi-perméables…… 30
   - les membranes microporeuses…… 30
10. Classification des membranes…… 30
    - Microfiltration(MF)…… 30
    - Ultrafiltration(UF)…… 31
    - Nano filtration(NF)…… 31
    - Osmose inverse(OI) …… 32
11. Mécanismes généraux des traitements par osmose inverse…… 32

12. Le choix de membrane……. 32
- Qualités…… 32
- Matériaux utilise…….. 32
- L'acétate de cellulose…….. 33
- les polyamides aromatiques…… 33
- Les composites……. 33

12. Les paramètres qui influent sur la performance…….. 33
- Facteur physique……... 33
- La température……. 33
- Les matières en suspension dans l'eau à traiter…….. 33

13. Présentation d'une unité d'osmose inverse…… 33
13.1. Le montage en parallèle…….. 33
13.2. Le montage en série…… 34
14. Fabrication, installation et procédé…… 35
15. Caractérisation du procédé d'osmose inverse…… 35
Conclusion…… 35
Conclusion générale

Liste des Figures

Chapitre I : Rappelle sur les transferts de chaleur

Figure [1.1] : Représentation Schématique de transfert thermique par conduction ……2

Figure [I.2] : Représentation Schématique de transfert thermique par convection…….....2

Figure [I.3] : Représentation Schématique de transfert thermique par rayonnement……..4

Chapitre II : Colmatage l'entartrage dans les échangeurs de chaleur

Figure [II.1] : échangeurs à contre courant et Co-courant……...7

Figure [II.2] : Le graphique montre le travail de l'échangeur tubulaire $1-2$ ……...8

Figure [II.3] : Diagramme l'efficacité η et NUT pour l'échangeur tubulaires $1-2$……....9

Figure [II.4]: Le graphique montre le travail de l'échangeur tubulaire 2-4……10

Figure [II.5]: Diagramme l'efficacité η et NUT pour l'échangeur tubulaires 2-4……..10

Figure [II.6] : Le graphique montre le travail de l'échangeur courant croiser……11

Figure [II.7]: Diagramme l'efficacité η et NUT pour l'échangeur courant croisé a deux fluides non brassés……11

Figure [II.8] : Diagramme l'efficacité η et NUT pour l'échangeur courant croisé a deux fluides brassés……...12

Figure [II.9] : Le graphique montre le travail de l'échangeur à plaque……...13

Figure [II.10] : Relation entre les divers ions présents dans l'eau……..18

Figure [II.11] : phénomène de l'entartrage dans les échangeurs…….23

Figure [II.12] : transfert de chaleur dans une conduite d'échanger après l'entartrage……....23

Figure [II.13] : Le Diamètre de la conduite de l'échangeur après l'entartrage……...24

Chapitre III : Osmose inverse

Figure [III .1] : Les principes de l'osmose inverse……..25

Figure [III .2] :L'osmose et l'osmose Inverse…….26

[Figure III.3] : Membranes tubulaires…….28

Figure [III .4] : Membranes planes…….29

Figure [III .5] : Membranes composites……..29

Figure [III.6] : microfiltration (MF)……30

Figure [III.7] : Ultrafiltration (UF)……..31

Liste des Figures

Figure [III .8] : Nano filtration (NF).....31

Figure [III.9]: osmoses inverse (O I) 32

Figure [III.10] : Le montage en parallèle.....34

Figure [III .11] : Le montage en série.....34

Liste des Tableaux

Chapitre II: Colmatage l'entartrage dans les échangeurs de chaleur

Tableau (II.1) : Données thermiques de WEBER et COL concernant les transferts de chaleurs à travers les tartes……15

Tableau (II.2) : Solubilité des gaz dans l'eau en fonction de la température …….17

Tableau (II.3) : classification de nature de l'eau suivant la dureté …….18

Tableau (II.4) : Concentration des différents anions en fonction des valeurs respectives du$TA\ et TAC$……..19

Tableau (II.5) : Les paramètres de Languier……20

Tableau (II.6) : L'indice de Ryznard et les caractères des eaux…….....20

Chapitre III : **Osmose inverse**

Tableau (III.1) : Les ordres de grandeur des tailles des pores des membranes d'OI, de NF, d'UF et de MF……32

L'échangeur consiste essentiellement à transmettre la chaleur d'une source chaude une autre source de plus faible température. L'échangeur de chaleur est un dispositif de grande importance dans les installations thermiques et énergétique. Il est caractérisé par une grande diversité géométrique. La transmission de chaleur dans ces appareils est réalisée par l'échange de chaleur entre les milieux, l'échange de chaleur ne contient aucune pièce mécanique mobile.

Tous les circuits alimentés par des eaux chaudes ou des eaux de refroidissement sont confrontés au problème de formation de dépôts cristallins de calcaire au niveau des parois en contact avec l'eau. Ce dépôt s'appelé le dépôt de tartre se compose essentiellement de carbonate de calcium $CaCO_3$ et d'hydroxyde de magnésium $Mg(OH)_2$, se forme à partir d'une température de chauffage supérieure à 50℃, s'accompagnant d'une formation de croutes impactes et très dures dans les échangeurs thermiques industrielles, c'est le problème de l'entartrage.

La précipitation du carbonate de calcium, les formations adhérentes des dépôts de tartre à la surface des canalisations des ouvrages domestiques ou industriels, ont les graves conséquences techniques et économiques que l'on sait : l'augmentation de l'épaisseur des parois des échangeurs de chaleur ainsi bouchage des canalisation des systèmes par le dépôt tartre (dans les chaudières et les échangeurs,…) donc une diminution du coefficient de transfert thermique , réduction du diamètre des conduites d'eau, corrosion sous tartre, surchauffe locale et éclatement des tubes des échangeurs.

L'objectif de ce travaille de recherche est l'étude de l'influence de l'entartrage sur la transmission de la chaleur dans les installations thermiques industrielles. On fait dans le premier chapitre une rappelle théorique de transfert de chaleur. Dans le deuxième chapitre, en fait une rappelle d'échangeurs de chaleur et en étude le problème de l'entartrage et ses effet sur la transmission de la chaleur. Dans le dernier chapitre, en propose osmose inverse comme une solution de ce problème.

Chapitre I :

Rappelle sur les transferts de chaleur

1. Introduction

Le transfert de chaleur est l'un des modes les plus communs d'échange d'énergie. Il intervient naturellement entre deux systèmes des qu'existe entre eux une différence de température et cela le quel que soit le milieu, même vide, qui les sépare. De ce fait, Les transferts thermiques ont, aussi bien dans la domine des sciences pures que dans celui des applications technologiques, un rôle souvent essentiel. Ce rôle devient même déterminant lorsqu'il est à l'origine des techniques utilisées (échangeurs, moteurs thermiques, calorifugeage, utilisation de l'énergie solaire,….).

La diversité des opérations thermique industrielles est considérables tel que traitement thermique, refroidissement, séchage,…… Ces opérations thermiques nécessitent une source de production de chaleur puis le transfert de cette chaleur vers l'objet à traiter. La transmission de la chaleur peut s'effectuer :

- par conduction
- par convection
- par rayonnement

1.1. Transfert de la chaleur par conduction

Transfert de chaleur par conduction est échange transfert de chaleur entre deux points d'un solide, d'un liquide ou d'un gaz immobile et opaque.

Figure [I.1]

L'énergie d'agitation se transmet d'atome à atome de molécule à molécule. C'est un transfert lent par exemple propagation de la chaleur dans une paroi entre un intérieur de bâtiment chauffé et l'extérieur. **[1]**

D'une manière simple, le flux de la chaleur qui passe dans un solide de manière de manière monodirectionnel s'exprime de la manière suivante :

$$\emptyset = -\boldsymbol{\lambda}\ \mathrm{S_{nx}}\frac{\mathrm{dt}}{\mathrm{dx}} \quad \textbf{..... [I.1]}$$

Où

$\emptyset$: Flux chaleur en watt (W)

λ : Conductivité thermique du matériau ($W.m^{-1}$)

S_{nx} : Surface perpendiculaire au flux de chaleur
(Normale à l'axe x considéré)

dt : Différence de température (en kelvins)

x : Axe considéré

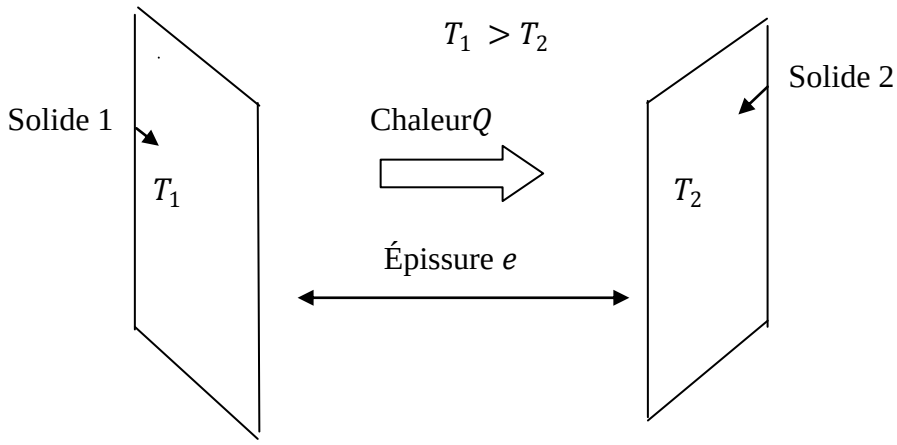


Figure [1.1] : Représentation Schématique de transfert thermique par conduction

1.2. Transfert de la chaleur par convection

La convection est un mode de transfert de chaleur par l'action combinée de la conduction, de l'accumulation de l'énergie et du mouvement du milieu. La convection est le mécanisme le plus important de transfert de chaleur entre une surface solide et un liquide ou un gaz.

Le transfert d'énergie thermique par convection d'une surface de solide dont la température est supérieure à celle du fluide qui l'entoure s'effectué en plusieurs étapes. D'abord la chaleur s'écoule par conduction de la surface aux molécules des fluides adjacents.

L'énergie ainsi transmise sert à augmenter la température et l'énergie interne de ces molécules du fluide. Ensuite les molécules vont se mélanger avec d'autres molécules situées dans une région à basse température et transfert une partie de leur énergie. L'énergie est, à présent, emmagasinée dans les molécules du fluide et elle est transportée sous l'effet de leur mouvement. [**Figure I.2]**

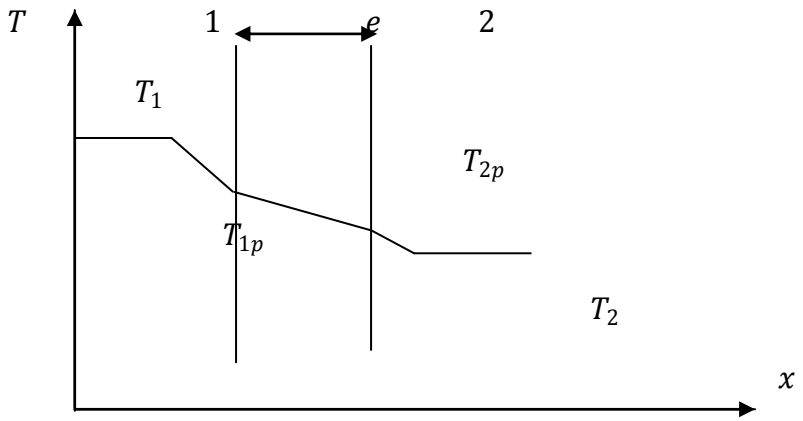


Figure [I.2] : Représentation Schématique de transfert thermique par convection.

Soit un mur séparant deux milieux, on suppose que $T_1 > T_2$

La loi de **Netwton** exprime l'échange de chaleur qui existe entre une plaque chaude (à la températureT_2) et un fluide (à la températureT_1).

$$\boldsymbol{\varphi = hS(T_1 - T_2)} \text{..... [I.2]}$$

$\boldsymbol{\varphi}$ **:** Flux total

h : Coefficient d'échange superficie

Dans ce mode de transfert de chaleur il existe deux types :

- **La convection forcée :** Dans la convection forcée**,** le fluide s'écouler à une cause extérieure (pompe, ventilateur, agitateur, etc…..). En convection forcée proprement dite, la poussée d'Archimède est négligeable devant les forces servant à mettre le fluide en mouvement c'est le cas, du refroidissement des moteurs à combustion interne, la pompe à eau pousse le liquide de refroidissement à travers le moteur, puis dans l'échangeur.
- **La convection naturelle (ou libre) :** Il ya convection naturelle lorsque le mouvement du fluide est uniquement du à la poussée d'Archimède indenté par les variations de masse volumique au sein du fluide, lesquelles sont la conséquence des variations spatiales de température. L'air chaud, plus léger, tend alors à monter, alors que l'air froid descend. Ce mécanisme se produit dans des situations très diverses : il est responsable de l'homogénéisation de la température dans une pièce d'habitation (transfert de chaleur du radiateur vers les parties froides de la pièce), mais également des courants marins ainsi que de la circulation générale de l'atmosphère**. [2]**

1.3. Transfert de la chaleur par rayonnement

Le rayonnement thermique est un phénomène se caractérisant par un échange d'énergie électromagnétique, sans que le milieu intermédiaire ne participe pas nécessairement à cet échange.par exemple, le rayonnement solaire est capable d'échauffer la terre bien que le milieu traversé soit à une température plus basse que la terre**. [3]**

Ce transfert de chaleur est le seul à se réaliser dans le vide, cas de rayonnement solaire arrivant sur terre. Néanmoins, celui-ci se réaliser aussi dans les fluides (l'air) et dans certains solide (verre). [**Figure I.3]**

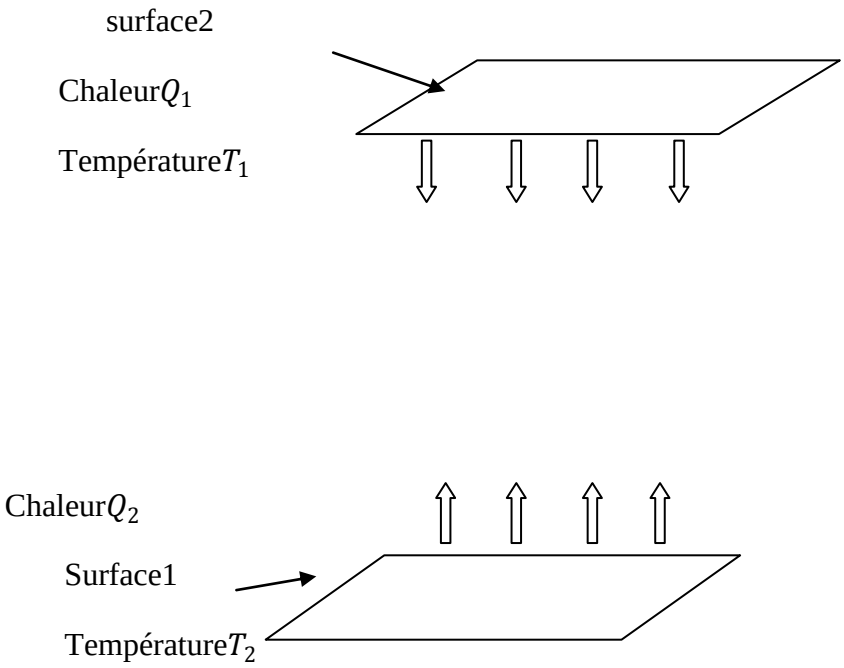


Figure [I.3] : Représentation Schématique de transfert thermique par rayonnement.

La loi de **Stefan-boltzman** permet de quantifier ces échanges. La puissance rayonnée par un corps est donnée par la relation :

$$\boldsymbol{P = \varepsilon . S . \sigma . T^4} \text{ ..... [I.3]}$$

Avec :

σ : Constante de **Stefan-Boltzmann** ($5{,}6703.10^{-8}\ W.m^{-2}.K^{-4}$)

ε : Émissivité,

S : Superficie du corps

T : Température du corps (en Kelvin).

Conclusion

Le transfert de chaleur est un partie essentielle dan le domine énergétique en générale, les trios mode de transfert expliqués (par les relations) les phénomènes de la transmission de l'énergie thermique dans les différents états de la matière (des milieux), le transfert de chaleur par conduction dans les milieux solide, le transfert de chaleur par convection dans les milieux liquide et le transfert de chaleur par rayonnement.

L'application de transfert de chaleur et plus dominé précisément dans les domine énergétiques sauf le mode de transfert de chaleur par rayonnement est presque dominé dan le domine optique.

Chapitre II :

Colmatage et l'entartrage dans Les échangeurs de chaleur

Chapitre II : Première Partie

Rappelle sur les Echangeurs de chaleurs

1 : Introduction

Un échangeur de chaleur à comme son nom l'indique, pour fonction de transférer de la chaleur d'un milieu fluide vers un autre.

Ce sont des éléments couramment rencontres autour de nous dans le bâtiment (radiateur) mais aussi dans un grand nombre d'application industrielle. Chaque fais que l'on vert évacuer de la chaleur pour diminuer le risque (composants électronique …) ou récupérer la chaleur pour l'utiliser il est fait appel a un échangeur de chaleur.

Généralement pour assurer efficacement cet échange de chaleur au moins un des fluides est met en mouvement (pompe, ventilateur). Pour augmenter cet échange, donc le transfert d'énergie, il peut être fait appel au changement de phase (condenseurs, évaporateurs ….) système utilise couramment dans les machines thermiques **[4].**

2. Définition de l'échangeur

Un échangeur de chaleur est un dispositif permettant la transmission de la chaleur d'un fluide chaud à un fluide froid par l'intermédiaire d'une paroi. Cet échange se fait par conduction à travers la paroi, par convection de la paroi au fluide (radiateur d'automobile, évaporateur de climatiseur……) **[4].**

3. Classification

Une classification peut être établie d'après le sens relatif des écoulements des deux fluides. On distingue donc :

- Les échangeurs à Co-courants ou échangeur anti-méthodique pace qu'écoulement des deux fluides parallèle et dans le même sens **Figure II.1.**
- Les échangeurs à contre-courant ou échangeur méthodique parce que écoulement des deux fluides parallèle et en sens contraire **Figure II.1.**
- Les échangeurs à courants croisés avec ou sans brassage parce que écoulement des deux fluides perpendiculairement l'un par rapport à l'autre

4. Méthode des Différences de Températures Logarithmiques Moyennes $DLMT$

L'échangeur est dimensionner les débits des fluides chauds et froids et leurs températures sont connues à l'entrée et la sortie **[5].**

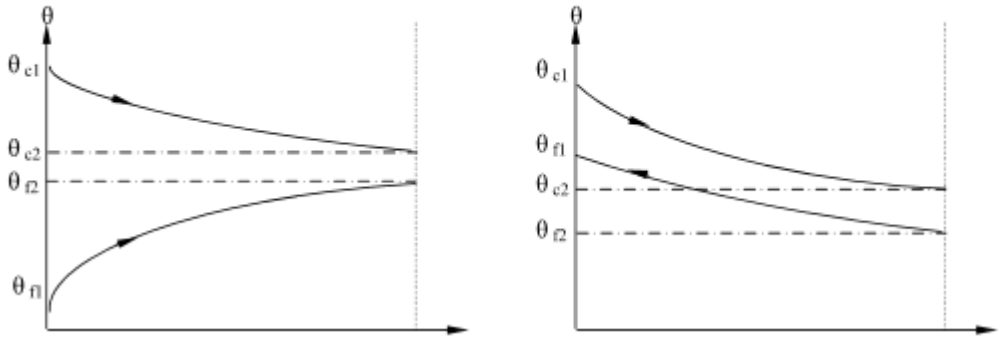
L'objectif consiste alors à déterminer :

- la surface d'échange requise
- la géométrie appropriée en fonction du type d'échangeur, du coût, de la masse et de l'encombrement.

$$\varphi = h\, S\, \Delta T_m \qquad \textbf{[II.1]}$$

$$\boldsymbol{h = \frac{\lambda}{e}} \qquad \textbf{[II.2]}$$

$$\boldsymbol{\Delta T_m = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\log \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}} \qquad \textbf{[II.3]}$$



Co-courant **Contre courant**

Figure [II.1] : échangeurs à contre courant et Co-courant.

5. Nombre d'unités de transfert (NUT)

Le NUT est représentatif du pouvoir d'échange de l'échangeur. Nous allons montrer dans ce qui suit qu'il est lié à l'échangeur et que son utilisation permet de simplifier les calculs de dimensionnement des échangeurs **[5].**

$$\boldsymbol{NU}\mathrm{T} = \frac{\boldsymbol{hS}}{\boldsymbol{q_{c_1}}} = \frac{\boldsymbol{T_{c_1} - T_{c_S}}}{\boldsymbol{\Delta T_m}} \qquad [\boldsymbol{II.4}]$$

6. Efficacité d'un échangeur

L'efficacité d'un échangeur, notion similaire à celle d'un rendement, est très utile pour caractériser la qualité à transférer de l'énergie d'un fluide vers un autre, l'échangeur idéal est celui qui permet l'échange maximum **[6].**

$$\eta = \frac{\boldsymbol{\varphi}}{\boldsymbol{\varphi_{max}}} \qquad \textbf{[II.5]}$$

φ : Puissance thermique réellement échange

φ_{max} : Puissance maximale échangeable

7. Relation ente NUT et efficacité Généralit

Co-courant

$$NUT_{max} = \frac{-\ln[1-(1+z)\eta]}{1+z} \quad \textbf{[II.6]}$$

$$\eta = \frac{1-exp[-NUT_{max}(1+z)]}{1+z} \quad \textbf{[II.7]}$$

Contre-courant:

$$NUT_{max} = \frac{1}{1+z}\ln\left(\frac{\eta-1}{z\eta-1}\right) \quad \textbf{[II.8]}$$

$$\eta = \frac{1-exp[-Nut_{max}(1+z)]}{1-z\,exp[-NuT_{max}(1+z)]} \quad \textbf{[II.9]}$$

8. Les échangeurs à faisceaux complexes

8.1. Échangeurs tubulaires

Echangeurs tubulaire 1-2 :

- 1 er passage en tube à Co-courant
- 2nd passage en tube à contre-courant

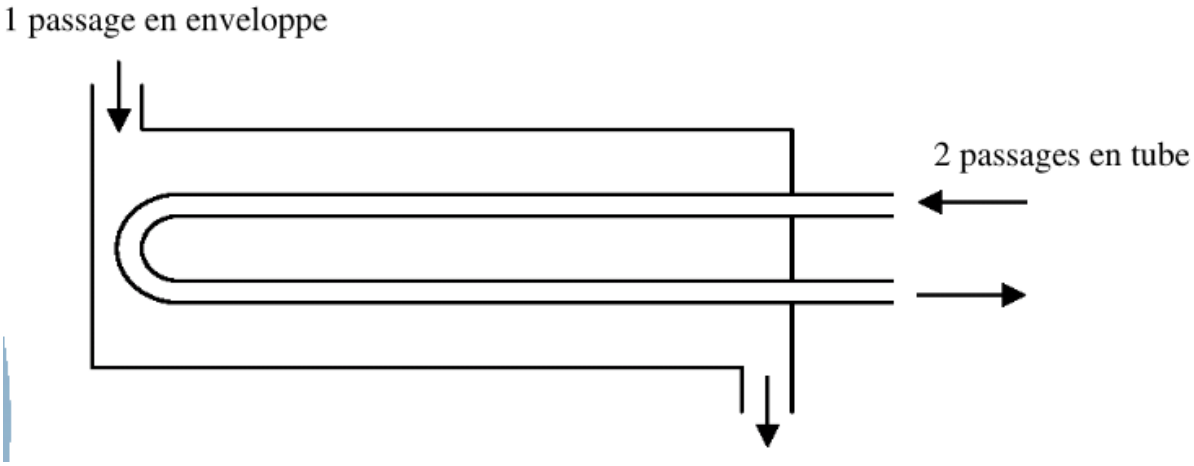


Figure [II.2] : Le graphique montre le travail de l'échangeur tubulaire $1-2$ **[6].**

Efficacité comprise entre un échangeur tubulaire à Co-courant et un échangeur tubulaire à contre-courant

$$\boldsymbol{NuT_{max}} = -(1+z^2)^{-1/2} \ln\left[\frac{2/\eta - 1 - z - (1+z^2)^{1/2}}{2/\eta - 1 - z + (1+z^2)^{1/2}}\right] \quad \textbf{[II.10]}$$

$$\eta = 2\left[1 + z + (1+z^2)^{1/2}\frac{1+exp\left[-NuT_{max}(1+z^2)^{1/2}\right]}{1-exp\left[-NuT_{max}(1+z^2)^{1/2}\right]}\right]^{-1} \quad \textbf{[II.11]}$$

$$\boldsymbol{NuT_{max}} = \frac{Ks}{C_{min}} \quad \textbf{[II.12]}$$

$$\boldsymbol{Z} = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad \textbf{[II.13]}$$

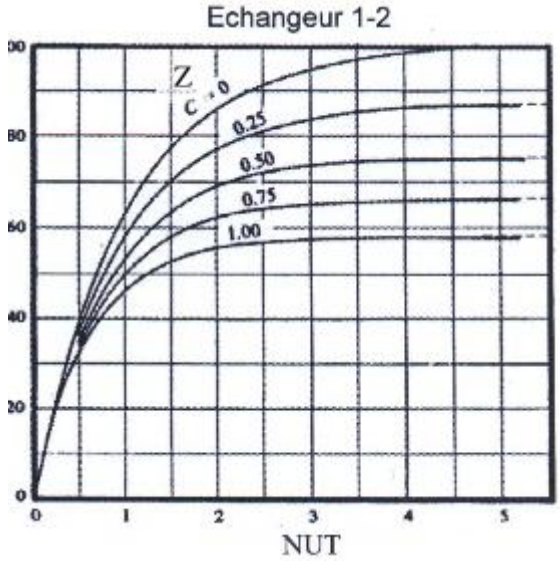


Figure [II.3] : Diagramme l'efficacité η et NUT pour l'échangeur tubulaires $1-2$ **[6].**

Echangeurs tubulaires 2-4

2 passages en enveloppe

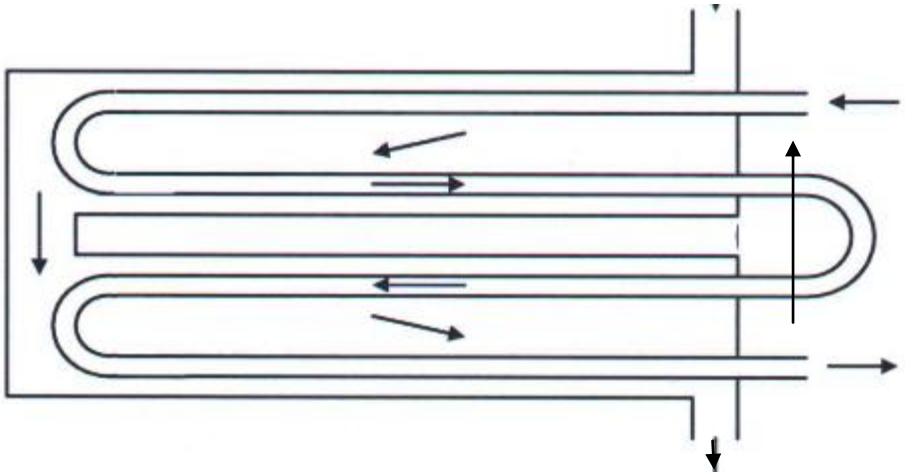


Figure [II.4]: Le graphique montre le travail de l'échangeur tubulaire 2-4 **[6].**

- 2 (ou plus) passages en calandre
- L'échangeur 2-4 comporte une chicane longitudinale = 2 passages
- Le fluide dans le tube effectue 4 passages

Si efficacité de l'échangeur $1-2 < 75\%$

Se rapprocher de l'échangeur à contre courant

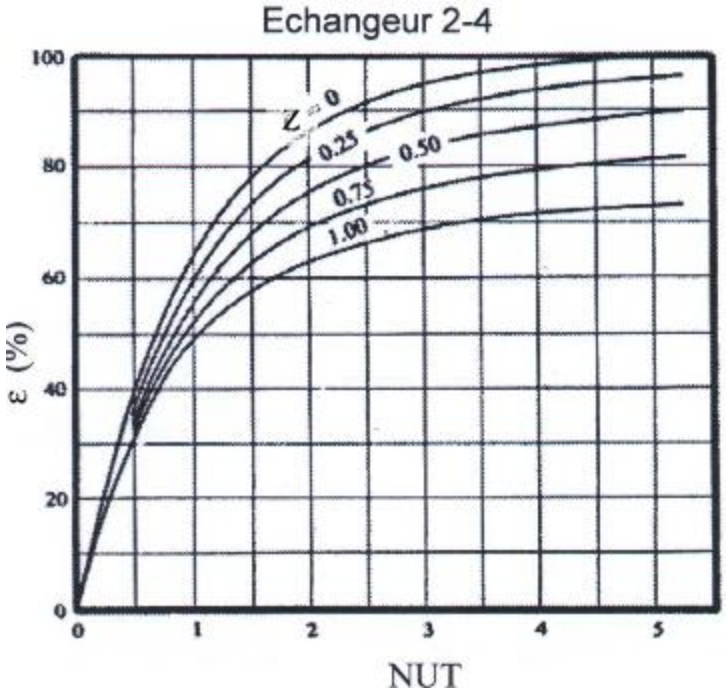


Figure [II.5]: Diagramme l'efficacité η et NUT pour l'échangeur tubulaires 2-4 **[6].**

8.2. Échangeurs à courants croisés

Les deux fluides s'écoulent perpendiculairement l'un a l'autre. Un fluide est dit non brassé s'il s'écoule dans une veine divisée en plusieurs canaux parallèles distincts et de faible section, il est dit brassé dans le cas contraire. Le brassage a pour effet d'homogénéiser les températures dans la section droit de la veine. Les échangeurs à courants croises sont surtout utilises pour des échangeurs entre un gaz circulant en calandre et un liquide circulant dans les tube.

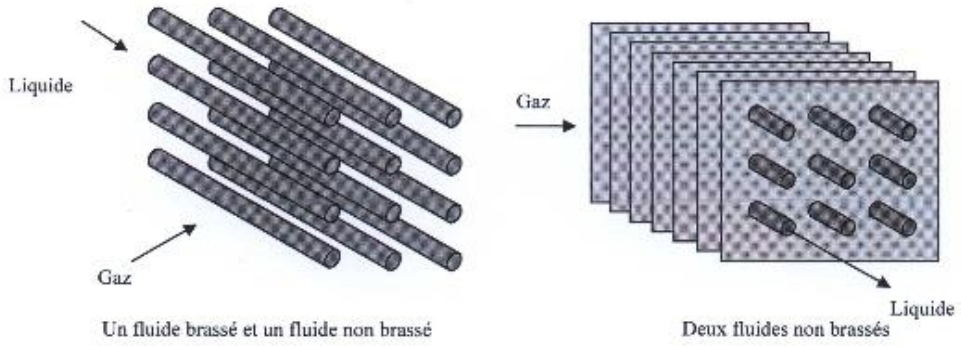


Figure [II.6] : Le graphique montre le travail de l'échangeur courant croiser [6].

- deux fluides non brassée

$$\eta = 1 - exp\left[\frac{exp[(-z\,NUT_{max}^{0,78})-1]}{z\,NUT_{max}^{-0,22}}\right] \qquad \textbf{[II.14]}$$

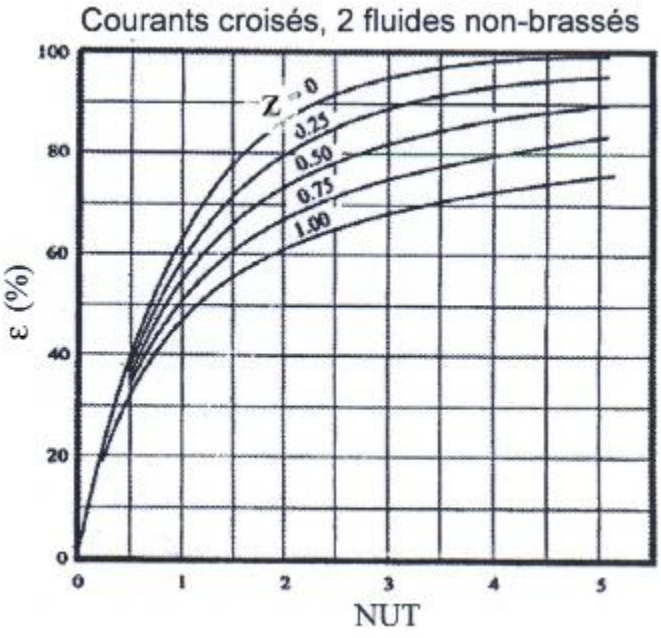


Figure [II.7]: Diagramme l'efficacité η et NUT pour l'échangeur courant croisé a deux fluides non brassés [6].

- deux fluides brassés

$$\eta = \left[\frac{1}{1-exp(-NUT_{max})} + \frac{z}{1-exp(-NUT_{max}\, z)} - \frac{1}{NUT_{max}}\right]^{-1} \quad \textbf{[II.15]}$$

$$NUT_{max} = -\ln\left[1 + \frac{1}{z}\ln(1-\eta z)\right] \quad \textbf{[II.16]}$$

- un fluide non brassé : fluide commandant le transfert $(Cmin)$non brassé

$$\eta = \frac{1}{z}\left[1 - exp\left[-\left(1 - e^{-NUT_{max}}\right)\right]\right] \quad \textbf{[II.17]}$$

$$NUT_{max} = -\ln\left[1 + \frac{1}{z}\ln(1-\eta z)\right] \quad \textbf{[II.18]}$$

- un fluide non brassé : fluide commandant le transfert $(Cmin)$ brassé

$$\eta = 1 - exp\left\{-\left(\frac{1}{z}\right)\left[1 - exp(-z - NUT_{max})\right]\right\} \quad \textbf{[II.19]}$$

$$NUT_{max} = -\frac{1}{z}\ln[1 + z\ln(1-\eta)] \quad \textbf{[II.20]}$$

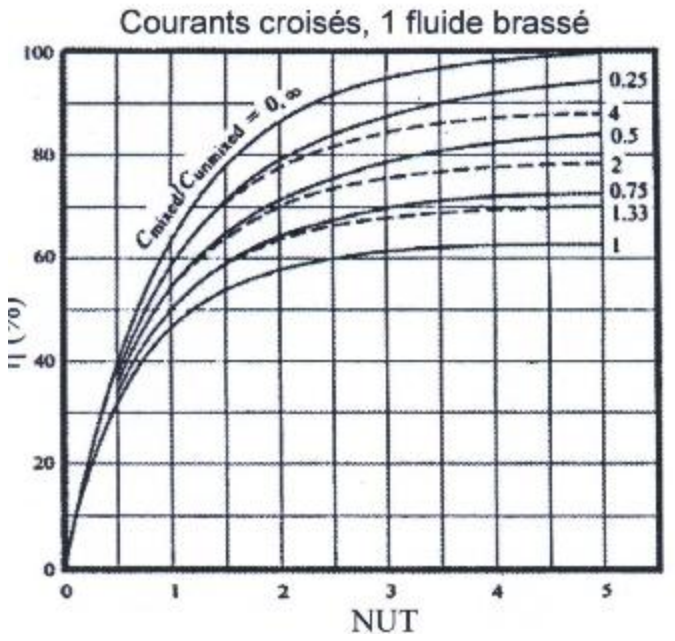


Figure [II.8] : Diagramme l'efficacité η et NUT pour l'échangeur courant croisé a deux fluides brassés [6].

8.3. Échangeurs à plaques

Il est constitué par un empilage de plaques écartées les unes des autres par des autres par des entretoises pour former un ensemble de conduits plats. Un fluide circule dans les conduits pairs, l'autre dans les conduits impairs selon le schéma ci-dessous :

L'épaisseur des plaques est de 1 à 1,5 mm pour le verre et de l'ordre de 0,5 mm pour les métaux (aluminium, acier inox), l'écartement varie entre 5 et 10 mm. Ces échangeurs permettent

d'obtenir une ration surface d'échange / volume très élevé, ils sont utiliser pour des échanges entre deux fluides de même nature : gaz /gaz ou liquide/liquide.

La longueur caractéristique utilisée pour le calcul de R_e et de P_r est égale à deux fois l'écartement entre les plaques **[6].**

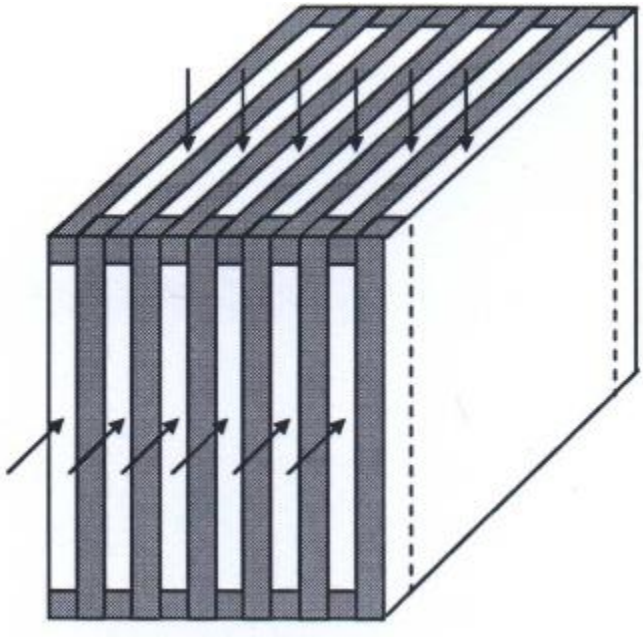


Figure [II.9] : Le graphique montre le travail de l'échangeur à plaque [6].

Chapitre II : deuxième partie problématique de l'entartrage

1. **Introduction**

Depuis l'aube des temps, le phénomène d'entartrage est connu, ne serait ce que par la formation d'architectures tout à fait remarquable comme les stalactites et leurs homologues les stalagmites, qui sont essentiellement composées de$Ca\ CO_3$, dont le processus de formation est inséparable du dégazage en CO_2 de l'eau naturelle.

Le tartre à des effets négatives sur les installations, on cite l'augmentation de l'épaisseur des parois des conduites des échangeurs c.-à-d. la réduction du diamètre des conduites d'eau, ainsi la diminution du coefficient de transfert thermique et on résulte une diminution de rendement de refroidissement.

2. **Définition de colmatage**

Le colmatage est un ensemble de phénomènes qui conduisent à une diminution de la perméabilité de la matrice solide de terrain au voisinage de l'eau superficielle et de l'eau souterraine.

Le blocage des pores du matériau en pièce par des particules en suspension est un mécanisme lié à la dimension relative pore-particules.

La sédimentation à lieu pour toutes, les particules dont le diamètre moyen dépasse30 μm. Les particules s'insèrent dans le milieu poreux à travers les fissures. Les particules plus fines sont retenues par des effets électriques de surface par des effets de voûte, ou par inertie **[7].**

a. Conséquences du colmatage

Conséquences hydrologiques : modification des échanges, décalage des écoulements, variations saisonnières des échanges, blocage des échanges individualisation de la grainière **[7].**

3. Définition l'entartrage

L'entartrage est la formation dépôts sur les parois internes des conduites de les échangeurs thermique ou les s'écoulent **Figure (II.10).** Ce dépôts est en générale constitue de carbonate de calcium, de sulfate de calcium ou de silice. Il peut aussi contenir d'autres carbonates mixtes de calcium et magnésium, des oxydes et hydroxydes tel que l'hydroxyde ferrique ou des argiles selon l'origine de l'eau **[8].**

a. Les Conséquences de l'entartrage

❖ **Conséquences hydrauliques :**

L'accumulation d'une épaisseur de tartre dans les équipements conduit à une diminution des section de passage, ce qui occasionne une augmentation de la résistance hydraulique des réseaux qui conduit dans tous les cas à une augmentation de dépense énergétique des pompes dans le cas de réseaux fermes **[9].**

❖ **Conséquences bactériologiques**

Il a été montré que les réservoirs, les réseaux et points de puisage (tel que les robinets les clapets….. etc.) des réseaux d'eau chaude sanitaire pourraient, s'ils étaient entartrés, être favorables à «l'accueil » et à la prolifération de legionella. Ceci conduit à des opérations de détartrage nécessaires avant toute désinfection **[9].**

❖ **Conséquences technologiques**

L'entartrage peut avoir pour conséquences technologiques.

- Le blocage des organes de manœuvre des robinetteries
- Le blocage des soupapes de sécurité
- La diminution du volume utile des réservoirs
- l'entraînement due particules en suspension qui peuvent être abrasives **[9].**

❖ **Conséquences énergétiques et thermique**

Les tartes ont des conductivités thermiques très faibles en observe des matériaux utilisés dans la construction des échangeurs (acier ou cuivre).

Les matériaux ne sont pas tous sensibles à l'entartrage de la même façon. Pour qu'un entartrage puisse se produire il faut :

- Une précipitation de sels minéraux
- Un accrochage des sels aux parois

Cette dernière phase n'est pas forcément réalisable, ainsi les matériaux de qui présentent des coefficients de dilatabilité très élevés seront relativement peu sensible à l'entartrage s'ils sont soumis à des variations de température et donc à des dilatations. De même pour les aciers inoxydables de part leur état de surface. L'augmentation dans de fortes proportions des dépôts entrainent une augmentation de la résistance thermique des parois est donc une diminution du coefficient d'échange **[9].**

Le tableau ci- dessous représente des données thermiques de **WEBER** et **COL** concernant les transferts de chaleurs à travers les différents types de tartre :

Types de tartre	**Conductivité thermique $m^{\circ}K$**	**Epaisseur de la couche de tartre**	**Perte d'efficacité**
$CaCO_3$	**1,5 à 1,8**	**0,1 mm** **0,25 mm** **0,5 mm** **1 mm**	**7**% **15**% **26**% **41**%
$CaSO_4$	**0,6 à 2,3**	**0,1 mm** **0,25 mm** **0,5 mm** **1 mm**	**9**% **20**% **33**% **50**%

Tableau (II.1) : Données thermiques de WEBER et COL concernant les transferts de chaleurs à travers les tartes.

4. Les principaux éléments dissous dans l'eau

- **Calcium**

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Composant majeur de la dureté de l'eau, est généralement l'élément dominant des eaux potables. Les eaux potables de bonne qualité renferment de 100 à 140 mg/L de calcium.

La directive des communautés européennes indique comme teneur du calcium dans l'eau destinée à la consommation humaine un niveau guide de 100mg/L.

- **Magnésium**

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature, il constitue environ 2,1% dans l'écorce terrestre. Le magnésium est, par ordre d'importance, le deuxième cation contenu dans les cellules après le potassium. La directive des communautés européennes indique comme teneur du magnésium dans l'eau destinée à la consommation humaine un niveau guide de 30 mg/L **[9].**

- **Potassium**

Bien que dans les roches ignées, la teneur en potassium soit presque aussi importante que celle de sodium, sa présence à peu prés constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement **10 à$15mg/L$.** La directive des communautés européennes indique comme teneur du potassium de l'eau destinée à la consommation humaine un niveau guide de $\mathbf{10}\,mg/L$ et une concentration maximale admissible de$\mathbf{10}/L$.

- **Sodium**

Le sodium est un élément constant dans l'eau, toutefois, les concentrations peuvent être extrêmement variables de quelques dizaines de mg à $\mathbf{500}\,mg/L$ et même au- delà, **l'O.M.S** recommandent une valeur limite de$\mathbf{200}\,mg/L$.

- **Chlorures**

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. La réglementation française, la norme américaine, l'**O.M.S** ne recommandent que la teneur en chlore Cl^{-} des eaux ne dépasse pas$\mathbf{250}\,mg/L$.

- **Fer**

Les eaux de surface peuvent contenir jusqu'à $\mathbf{0,5}\boldsymbol{mg/L}$ de fer qui peut avoir pour origine la lixiviation des terrains traversés, ou les pollutions industrielles ; dans les eaux de distribution, il provient le plus souvent de la corrosion des conduites d'amenées. Le fer peut se rencontrer jusqu'à $\mathbf{10}\boldsymbol{mg/L}$ dans les eaux de sondage. Ce métal à l'état ferreux est assez soluble dans l'eau, il précipite à la suite du départ de l'anhydride carbonique et par oxydation à l'air. Les normes américaines et **l'O.M.S** ont retenu la valeur limite$\mathbf{0,3}\ \boldsymbol{mg/L}$**,** pour les usages industriels, en particulier pour les industries alimentaires, il est recommandé de ne pas dépasser$\mathbf{0,2}\boldsymbol{mg/L}$**.**

- **Manganèse**

Le manganèse présent dans l'eau peut s'y trouver à valences différentes (2, 3,4,), à l'état soluble ou en suspension ou forme de complexe. Le manganèse est nécessaire à l'homme pour la croissance. Les normes américaines et la réglementation française indiquent pour l'eau destinée à la consommation humaine une limite **de**$\mathbf{0,05}\boldsymbol{mg/L}$**, l'O.M.S**$\mathbf{0,1}\boldsymbol{mg/L}$**.**

- **Nitrates**

Toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniaque, nitrites…) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique. **L'O.M.S** indique comme valeur limite pour les nitrates $\mathbf{10}\boldsymbol{mg/L}$ (exprimée en N), les normes américaines donnent le chiffre de$\mathbf{45}\boldsymbol{mg/L}$ $(\boldsymbol{NO_3^-})$**.**

- **Nitrites**

Les nitrites peuvent être rencontrés dans les eaux généralement à des doses faibles, les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant. **L'O.M.S,** sans indiquer de valeur guide préconise que la teneur en nitrite de l'eau de boisson soit nettement inférieure à $\mathbf{1}\boldsymbol{mg/L}$**.**

- **Plomb**

Le plomb est un constituant naturel mineur, largement réparti dans terrestre à des teneurs de l'ordre de$\mathbf{13}\boldsymbol{mg/Kg}$**.** Les sols acides sont généralement moins riches en plombe que les sols alcalins. La majorité de plomb véhiculé par les eaux de surface dans les sédiments. Ce métal est en effet si répandu et si utilisé dans l'industrie que les possibilités de pollution sont extrêmement nombreuses et variées. Les activités humaines (emploi de plomb tétra-éthyle, fusion des minerais…). **L'O.M.S** et la réglementation française retiennent cette même valeur limite de$\mathbf{0,05}\ \boldsymbol{mg/L}$**.**

- **Chromes**

Le chrome est présent en petite quantité dans la nature. Le chrome est amphotère et peut exister dans l'eau sous l'eau sous plusieurs formes.

Le chrome est un élément anormal de l'eau, sa présence est le plus souvent liée aux rejets des ateliers de galvanoplastie. Le chrome peut se trouve à l'état trivalent (chromites), ou bivalent (chromates et dichromates). **L'O.M.S** ainsi que la directive des communautés européennes et la réglementation français relatives à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine ont adopté comme valeur limite du chrome le chiffre de$\mathbf{0,05}\boldsymbol{mg/L}$**.**

- **Cadmium**

Dans la nature, le cadmium est associé au zinc, il est utilisé pour le revêtement électrolytique des métaux, dans certains alliages, pour la fabrication de peintures, de matières plastiques….. , dans les eaux superficielles, le cadmium provient habituellement des pluies. **L'O.M.S**, la réglementation française fixent une valeur limite du chrome le chiffre de$\mathbf{0,005}\boldsymbol{mg/L}$.

➢ **Odeur et goût**

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore et sans goût. En effet, toute odeur ou goût est un signe de pollution ou de la présence de matière organique en décomposition. La solubilité des gaz et sels minéraux (Na^+, Cl^-, SO_4^{-2}) dans l'eau donne un goût.

Le tableau (II.2) représente la variation de la solubilité des gaz dans l'eau en fonction de la température :

Température $^\circ C$	0	10	15	20	25	30
Gaz						
O_2 (mg/L)	13,9	10,8	9,7	8,8	8,1	7,4
N_2 (mg/L)	23,5	18,6	16,8	15,4	14,3	13,4
CO_2 (mg/L)	10,6	0,7	0,59	0,53	-	-

Tableau (II.2) : Solubilité des gaz dans l'eau en fonction de la température **[9].**

5. L'entartrage et la dureté de l'eau

a. La dureté de l'eau

La dureté de l'eau est due à la présence d'ions métalliques bivalents $Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{2+}$ ….. etc. Les plus abondants étant les ions Ca^{2+}, Mg^{2+}. En pratique, on considère souvent que la dureté totale de l'eau de consommation est égale à la somme de sa dureté calcique et de sa dureté magnésienne (dureté dues aux ions Ca^{2+}, Mg^{2+}). Les eaux dures présentent cependant deux inconvénients principaux qui, dans certains cas, justifient un traitement d'adoucissement. Etant donné que les ions responsables de la dureté réagissent avec les savons, il ya augmentation de la quantité de savon nécessaire pour la lessive. De plus, les ions calcium Ca^{2+}, ont tendance à précipiter dans les bouilloires sous forme de calcium. On classe la dureté de l'eau en deux types : dureté calcique ou dureté magnésienne (classification selon les ions métalliques présents), dureté calcique non carbonatée (classification selon les anions associés à ces ions métallique) **[9].**

❖ **Dureté calcique et magnésienne**

Elle correspond aux ions de calcium Ca^{++} (dureté calcique) et de magnésium Mg^{++} (dureté magnésienne) lié aux anions étrangers (tel que ; CCO_4^{2-}, SO_4^{2-}). Il peut être parfois important de connaitre la dureté calcique ou la dureté magnésienne d'une eau. Par exemple, pour calculer la quantité de chaix nécessaire dans les procédés d'adoucissement par addition d'un excès de chaux ou par addition d'un excès de chaux et de soude.

❖ **Dureté carbonatée et non carbonatée**

On considère que la dureté carbonatée correspond à la dureté totale chimiquement équivalente à la quantité de bicarbonates présents dans une eau. Physique la mesure de la quantité de bicarbonates (exprimée en$CaCO_3$), correspond en général à l'alcalinité de l'eau. On peut dire que l'alcalinité de la plupart des eaux est égale à leur dureté carbonatée.

Les ions bicarbonates ont une certaine importance, puisqu'ils constituent une source d'ions carbonates, lesquels favorisent la précipitation de Ca^{2+} sous la forme de $CaCO_3$ lorsque la température est élevée. Cette précipitation, qui à lieu dans des bouilloires, est régie par les réactions suivantes :

$$Ca^{2+} + 2HCO_3^- \rightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O \quad \text{[II.21]}$$

$$CO^{2+} + 2HCO_3^- + CO(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3 + H_2O \quad \text{[II.22]}$$

Autrefois, on appelait la dureté carbonatée "dureté temporaire", à cause du fait qu'une ébullition prolongée peut entrainer une précipitation des ions carbonates.

On appelle dureté non carbonatée la dureté qui n'est pas chimiquement équivalente à la quantité de carbonates. Ces type de dureté est en général associe aux sulfates, nitrates,….etc.

Autrefois, on appelait la dureté non carbonatée "dureté permanente", à cause du fait qu'on ne peut pas l'éliminer ou la faire précipiter par ébullition.

On peut classer la nature de l'eau suivant leur dureté, cette classification est représentée dans le tableau suivant :

La nature de l'eau	La dureté
Eau très douce	$0 - 1{,}55\ méq/L$
Eau douce	$1{,}5 - 3\ méq/L$
Eau moyenne	$3 - 6\ méq/L$
Eau dure	$6 - 10\ méq/L$
Eau très dure	$plus\ que\ 10méq/L$

Tableau (II.3) : classification de nature de l'eau suivant la dureté [8].

Les relations entre la dureté, l'alcalinité et les différents ions en solution sont illustrées par la figure suivante :

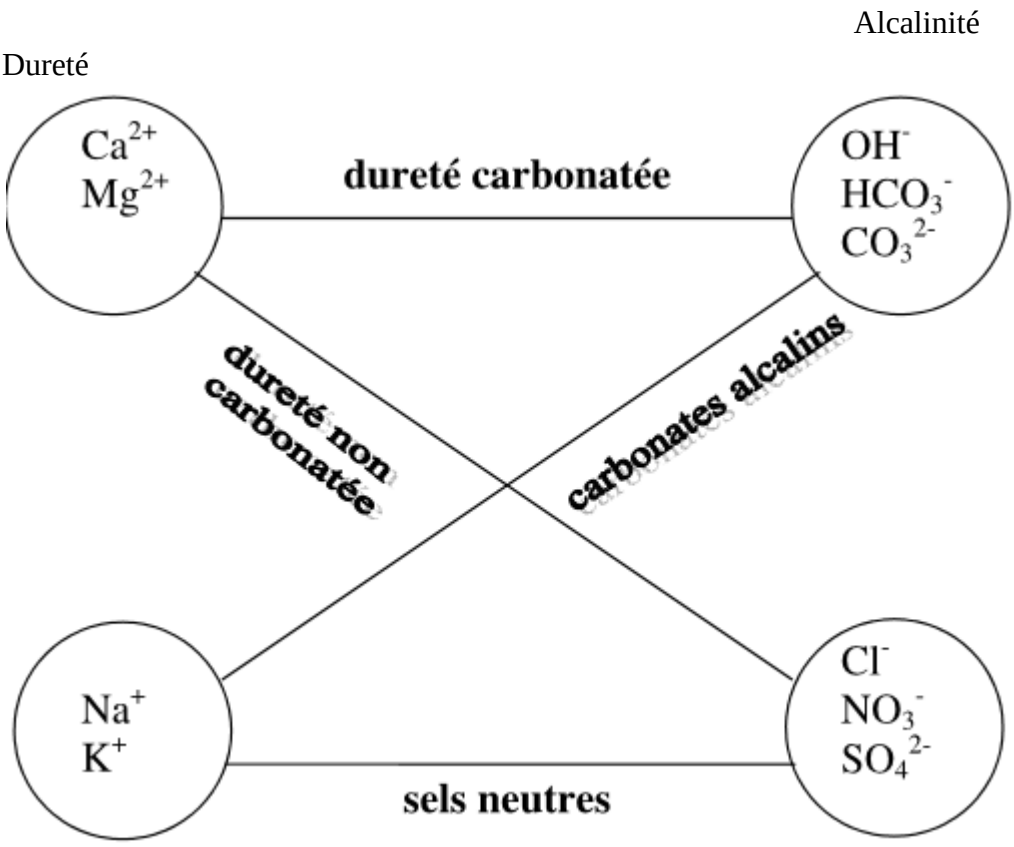


Figure [II.10] : Relation entre les divers ions présents dans l'eau **[9].**

b. L'entartrage et le titre alcalimétrique (TA et TAC)

L'alcalinité, indice du pouvoir tampon de l'eau, est étroitement liée à la dureté.

L'alcalinité est produite en majeure partie par les anions ou des espèces moléculaire d'acides fables, principalement l'hydroxyde, le bicarbonate et le carbonate, d'autres espèces, comme les borates, les phosphates, les silicates et les acides organique, peuvent également y contribuer dans une certains mesure. L'alcalinité est exprimée en quantité équivalent de carbonate de calcium.

L'alcalinité se mesure par la neutralisation d'un certain volume d'eau par une solution diluée d'un acide minéral, le point d'équivalence étant déterminé par des indicateurs colorés. En présence de détermination correspond au titre alcalimétrique $(\boldsymbol{TA})$**.** En présence de méthylorange à $pH = 4{,}3$, on mesure donc la somme des ions hydroxydes, des carbonates et des bicarbonates, cette détermination correspond au alcalimétrique complet $(\boldsymbol{TAC})$. **Le tableau (II.4)** résume les valeurs des concentrations des différents anions en fonction de TA etTAC.

Valeurs respectives du TA etTAC	$[OH^-]$	$[CO_3^{2-}]$	$[HCO^{3-}]$
Si $TA = 0$	0	0	TAC
SI $TA < TAC/2$	0	$2TA$	$TAC - TA$
Si $TA = TAC/2$	0	TAC	0
Si $TA > TAC/2$	$2TA - TAC$	$2(TAC - TA)$	0
Si$TA = TAC$	TAC	0	0

Tableau (II.4) : Concentration des différents anions en fonction des valeurs respectives duTA etTAC.

- Si le TA et TAC sont égaux, toute l'alcalinité est due hydroxydes(OH^-).
- Si le TA est égal à la moitié du TAC, toute l'alcalinité est due au carbonate
- Si le TA est nul, toute l'alcalinité est due aux bicarbonates
- Si le TA est supérieur à la moitié TAC, des carbonates et des hydroxydes sont présentes sont présents, ce qui explique :

$$\boldsymbol{TA = [OH^-] + 1/2[CO_3^{2-}]} \quad \textbf{[II.23]}$$

$$\boldsymbol{TAC = [OH^-] + [CO_3^{2-}]} \quad \textbf{[II.24]}$$

$$\boldsymbol{[OH^-] = 2TA - TAC} \quad \textbf{[II.25]}$$

$$\boldsymbol{[CO_3^{2-}] = 2(TAC - TA)} \quad \textbf{[II.26]}$$

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

$$\boldsymbol{[CO_3^{2-}] = 2TA} \quad \textbf{[II.27]}$$

$$\boldsymbol{[HCO_3^-] = TAC - 2TA} \quad \textbf{[II.28]}$$

c. L'entartrage et le titre hydrométrique$(\boldsymbol{TH})$

Elle est mesurée par la somme des concentrations en degrés de Ca^{2+}et Mg^{2+}et s'exprime par leTH. Le TH ou titre hydrométrique total correspond à totalité des ions.

Le $\boldsymbol{TH}$ calcique correspond au tenseur global en sels de calcium

Le $\boldsymbol{TH}$ magnésium correspond à la teneur globale en sels de magnésium.

6. Les 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 entartant de l'eau, parmi ces facteurs on cite la dureté en calcium, l'alcalinité, la température, leTH, et la qualité de l'eau qui peut être déterminée à partir de certains indices qui sont :

a. Indice 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 donné entre les ionsH^+,OH^-,CO^{3-}, 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 languier est égale à la différence entre le$\boldsymbol{pH}$, actuel de l'eau et le pH de saturation ($\boldsymbol{pH}$ auquel elle ne serait ni entartrant ni corrosive) ce $\boldsymbol{pH}$ de saturation $\boldsymbol{pH_s}$ s'obtient à partir de température, la dureté calcaire, l'alcalinité au méthylorange ou l'alcalinité complète **(TAC)** et la tenseur en solides totaux dissous.

pH de saturation	Tendance de liant
$\boldsymbol{pH - pHs}$	Eau entartrant
$\boldsymbol{pH = pHs}$	Eau neutre
$\boldsymbol{pH - pHs}$	Eau corrosive

Tableau (II.5) : Les paramètres de Languier.

La relation de $\boldsymbol{pH}$ de saturation est donnée comme suit :

$\boldsymbol{pHs}$: $\boldsymbol{pH}$De saturation.

$\boldsymbol{pC_a}$: Logarithme négatif de la concentration de calcium.

$\boldsymbol{palc}$: Logarithme négatif de la concentration de l'alcalinité.

$\boldsymbol{C}$: Valeur variation qui déterminée à partir la teneur des sels et la température suivant.

b. Indice de stabilité

Une autre méthode d'évaluation pour résoudre ce même problème est l'indice de stabilité de Reynald. C'est un indice empirique destiné pour déterminer le caractère corrosif ou entartrant des eaux. L'indice des Reynald est donné par la relation suivante :

$$\boldsymbol{IR = 2pHs - pH} \qquad \textbf{[II.29]}$$

Où :$pHs\ est\ le\ pH$ de saturation de languier.

L'interprétation suivant l'indice de Reynard est donné dans le tableau suivant :

Indice de Ryznard	Comportement de l'eau dans le réseau
$\boldsymbol{4-5}$	Entartrage important
$\boldsymbol{5-6}$	Entartrage faible
$\boldsymbol{6-7}$	Equilibre ou légère corrosivité
$\boldsymbol{7-7,5}$	Légère corrosivité
$\boldsymbol{7,5-8,5}$	Corrosivité notable

Tableau (II.6) : L'indice de Ryznard et les caractères des eaux.

7. Paramètres de l'entartrage

Il existe quelques paramètres qui contribuent à la précipitation des sels, ces paramètres sont les suivants :

La présence de sels de calcium et dans une moindre mesure, de magnésium dans l'eau est le premier facteur qui contribue au caractère entartrant de l'eau. Ainsi, plus la dureté de l'eau est élevée, plus il y a prédisposition au dépôt de calcaire (en fait, de carbonate de calcium$CaCO_3^-$) sur les parois en contacte avec l'eau. Mais la présence de sels de calcium dans l'eau n'est pas à elle seule suffisante pour provoquer l'entartrage.

$$\boldsymbol{CaCO_3^- \rightleftharpoons Ca^{++} + CO_3^-} \qquad \textbf{[II.30]}$$

La réaction chimique qui provoque la précipitation du carbonate de calcium est largement favorisée par l'élévation de la température qui, en libérant du gaz carbonique, accélère la précipitation du tartre. Il n'ya pas ou très d'entartrage sur les canalisations d'eau froide. En revanche, les circuits d'eaux chaudes sanitaires représentent un terrain favorable à l'entartrage. On a pu constater que deux types d'eaux de composition identique et placées dans les mêmes conditions n'avaient pas forcement le même pouvoir entartrant. Le phénomène tient à la présence dans l'eau en qualité infinitésimale susceptible de déclencher le phénomène d'entartrage. Ainsi, la présence dans l'eau d'ions cuivre ou d'ions zinc freine le dépôt de tartre qui reste en suspension dans l'eau. Les quantités nécessaire sont très faibles, de l'ordre de quelques dizaines à quelques certaines de microgrammes par litre.

8. Influence de la nature de la canalisation

Dans le cas des eaux moyennement ou peu entartrant, le cuivre peut empêcher l'apparition des premières traces de tarte et bloquer ainsi le développement naturel du processus d'entartrage.

Le cuivre à donc un avantage décisif sur les autres matériaux avec lesquels il ya toujours amorce d'entartrage.

Dans le cas des eaux très entartrant, il ya aussi un avantage au cuivre mais d'un autre ordre.

Le tartre déposé sur un tube de cuivre contient lui-même des traces de cuivre qui jouent leur rôle bactéricide vis-à-vis des eaux transportées par la canalisation. On sait que le tartre favorise le développement de certaines bactéries comme celles de la légionellose, mais si la canalisation est en cuivre, la présence de ces traces de cuivre dans le tartre va inhiber le risque de prolifération de ces micro-organismes **[9].**

9. Différents types de tartre

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 ($\boldsymbol{HCO_3^-}$), l'ion carbonique ($\boldsymbol{CO_3^{2-}}$), l'ion magnésium ($\boldsymbol{Mg^{++}}$), et les sulfates.

Généralement il ya deux types de tartre :

- **Tartre alcalin**

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

$$\boldsymbol{2HCO_3^- \rightleftharpoons CO_3^{2-} + H_2O + CO_2} \qquad \textbf{[II.31]}$$

$$\boldsymbol{CO_3^{2-} + H_2O \rightleftharpoons 2OH^- + CO_2} \qquad \textbf{[II.32]}$$

L'élévation de la température provoque l'élimination du $\boldsymbol{CO_2}$ donc obligatoirement la formation d'ion CO_3^{2-}, lorsque les ions de calcium, de magnésium et les ions de carbonates et hydroxyde contenus dans l'eau nous donnent respectivement :

$$\boldsymbol{CO_3^{2-} + Ca^{++} \rightleftharpoons CaCO_3} \quad \textbf{[II.33]}$$

$$\boldsymbol{Mg^{++} + 2OH^{-} \rightleftharpoons Mg(OH)_2} \quad \textbf{[II.34]}$$

La dissolution de ce tartre est réduite au cours de l'augmentation de la température. Donc le degré de formation des ces deux précipités dépend du bicarbonate et de la température.

- **Tartre non alcalin**

Le type de tartre non alcalin le plus important est composé de sulfates et surtout de sulfates de calcium ($\boldsymbol{CaSO_4}$).

Il commence à apparaitre 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 ($\boldsymbol{CaSO_4}$).
- L'hymydrate ($\boldsymbol{CaSO_4.1/2\,H_2O}$).
- Le dihydrate ($\boldsymbol{CaSO_4.2H_2O}$).

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 températures élevées.

- **L'oxyde de fer et de cuivre**

Ce type est rencontré généralement dans la 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.

- **Silicates**

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

10. Le phénomène d'entartrage et ses effets sur les échangeurs de chaleur

Bien que le problème ne se pose pas dans la zone d'étude, il est important de le rappeler.

Tout au contact de l'échangeur au travers laquelle se fait un échange thermique mène à une résistance de transfert. Si on veut maintenir constant le flux thermique à travers cette échangeur il est donc nécessaire d'augmenter la différence de température entre la surface interne entartrée et les surfaces externes **Figure (II.11).**

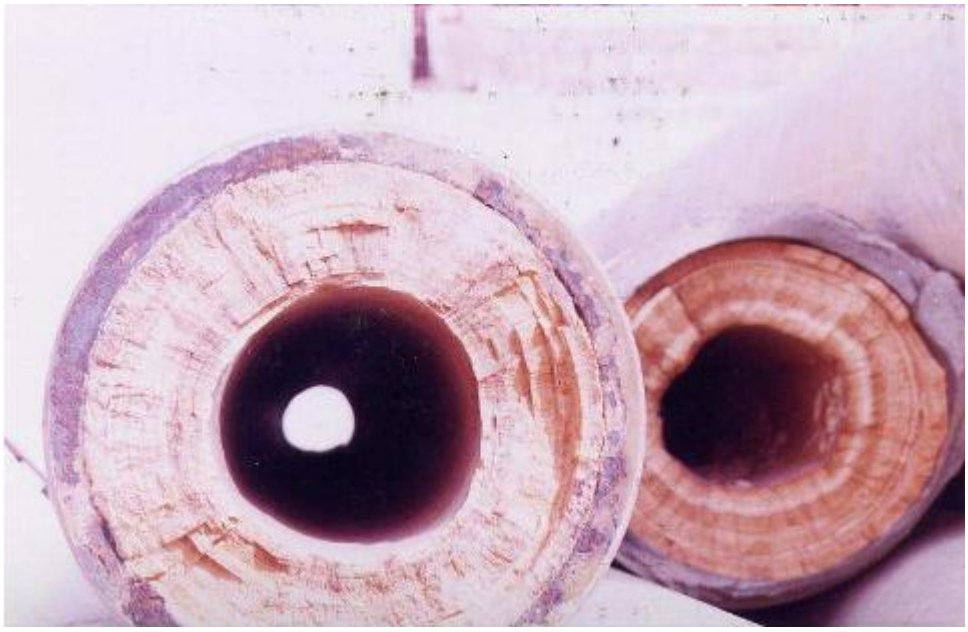


Figure (II.11) : phénomène de l'entartrage dans les échangeurs

Dans les échangeurs thermiques la formation de tartre provoque un abaissement du coefficient de transfert thermique et un accroissement des pertes de charge. Il peut en résulter des températures de peau plus élevée sous les dépôts favorisant la corrosion par piqures. **Figure (II.12).**

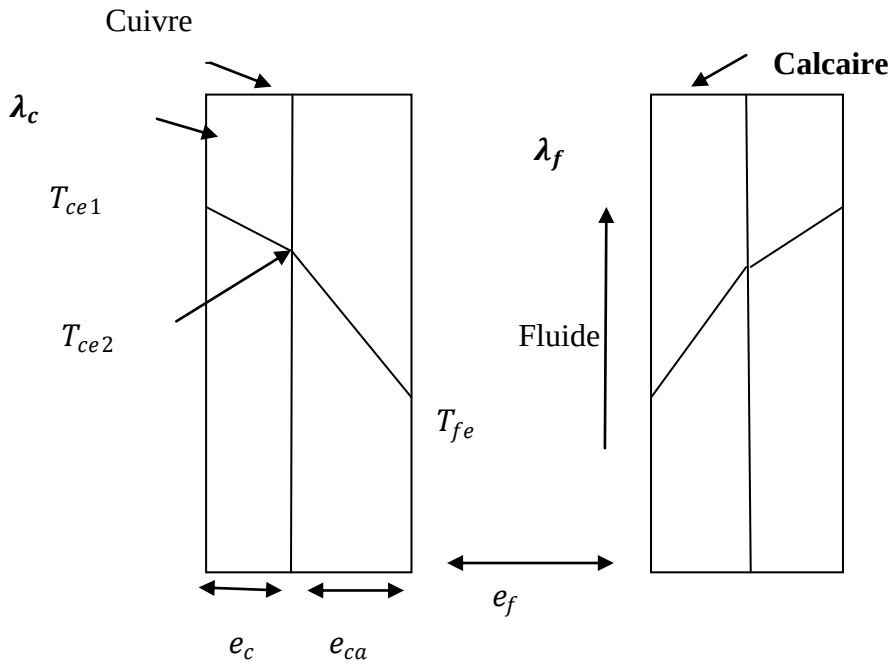


Figure [II.12] : transfert de chaleur dans une conduite d'échanger après l'entartrage.

Nous rappelons la formule qui permet le calcule du coefficient d'échange :

$$\boldsymbol{\varphi = h\, S\, \Delta T_m} \qquad \textbf{[II.35]}$$

$$\boldsymbol{\varphi = \frac{\lambda_T}{e_T}\, S\, \Delta T_m} \qquad \textbf{[II.36]}$$

$$\boldsymbol{\lambda_T = \lambda_c + \lambda_{ca}} \quad \textbf{[II.37]}$$

$$\boldsymbol{e_r = e_c + e_{ca}} \quad \textbf{[II.38]}$$

La température moyenne logarithmique a pour valeur :

$$\boldsymbol{\Delta T_m = \frac{\Delta T'_2 - \Delta T'_1}{\log \frac{\Delta T'_2}{\Delta T'_1}}} \quad \textbf{[II.39]}$$

$$\boldsymbol{\Delta T'_1 = (T_{ce1} - T_{ce2}) + (T_{ce2} - T_{fe})} \quad \textbf{[II.40]}$$

$$\boldsymbol{\Delta T'_2 = (T_{fs} - T_{cs1}) + (T_{cs1} - T_{cs2})} \quad \textbf{[II.41]}$$

$$\boldsymbol{NUT = \frac{hS_2}{q_{c1}} = \frac{T_{c2} - T_{cs}}{\Delta T_m}} \quad \textbf{[II.42]}$$

Donc Le coefficient d'échange a pour valeur

$$\boldsymbol{h = \frac{q(T_{cs} - T_{ce})}{S \Delta T_m}} \quad \textbf{[II.43]}$$

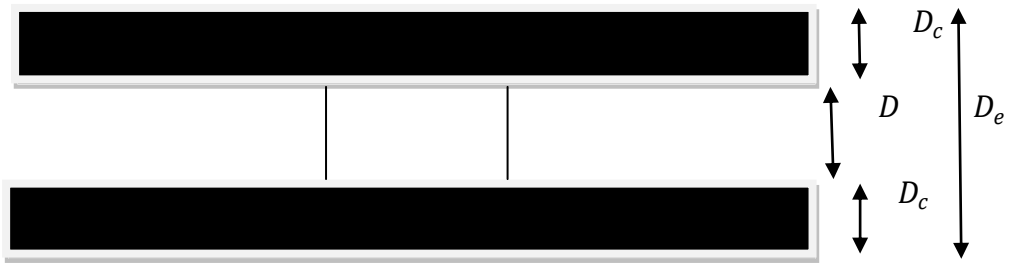


Figure [II.13] : Le Diamètre de la conduite de l'échangeur après l'entartrage.

En cas de l'obstruction des conduites de les échangeurs thermique, le dispositif de fonctionnement est également affecté (soupape, robinet, ….) ce qui perturbe l réseau, notamment la diminution du débit, l'élévation de la pression.

Conclusion

L'échangeur de chaleur est un dispositif très importance pour transmis l'énergie thermique d'un fluide vers un autre.

Pour l'étude thermique d'un échangeur on utiliser deux méthodes principales celle de la moyenne algorithmique de la différence de température **DTLM** et le nombre d'unité de transfert **NUT**

Le tartre à des effets négatives sur les installations, on cite l'augmentation de l'épaisseur des parois des conduites des échangeurs c.-à-d. la réduction du diamètre des conduites d'eau, ainsi la diminution du coefficient de transfert thermique et on résulte une diminution de rendement de refroidissement.

Chapitre III :

Osmose inverse

Introduction

Dans la nature, l'osmose est un phénomène essentiel aux équilibres biologiques. Mais le procédé industriel est qualifié d' « osmose inverse » car, à l'aide d'une forte pression P supérieure à la pression osmotique, on force l'eau salée à passer du compartiments le plus concentré en sel au compartiments d'eau douce .comme les deux compartiments sont séparés par une membrane ,le compartiments d'eau douce s'enrichit en fait en eau douce . Dans la réalité, si on avait laissé faire la nature , sans imposer ni membrane ni pression, l'eau douce se serait chargée en sel et l'eau salée se serait diluée .

1. Osmose inverse

L'osmose inverse est un système de purification de l'eau contenant des matières en solution par un système de filtrage très fin qui ne laisse passer que les molécules d'eau. Ce système nous permettrait de faire des économies d'eau au niveau des purges de déconcentration. Les purges sont faites lorsque l'eau est trop chargée en minéraux, avec ce procédé l'eau sera pure, donc ne contiendra plus de minéraux, la nécessité de déconcentrer l'eau des tours sera donc réduite. **[10] .**

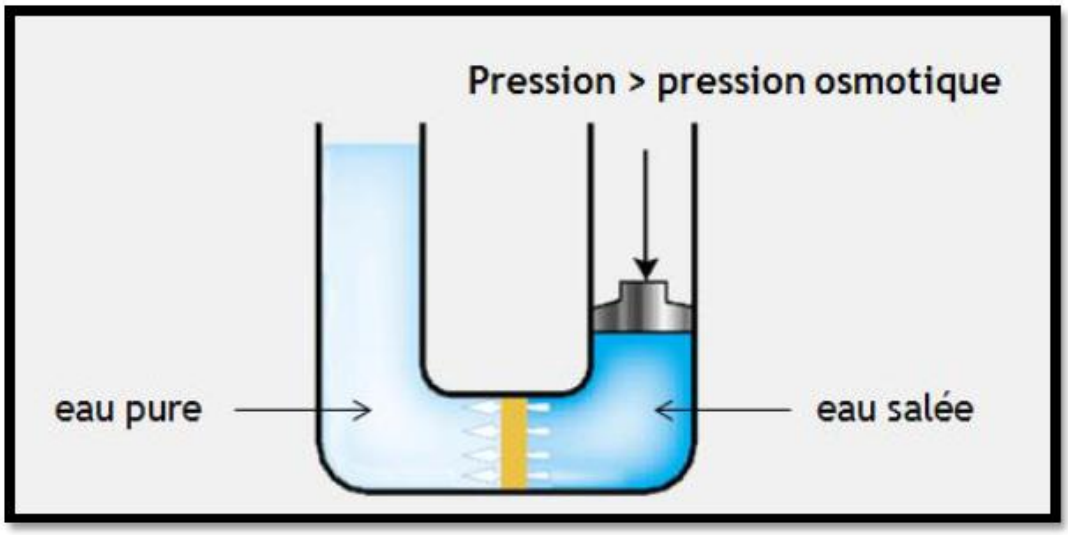


Figure [III .1] : Les principes de l'osmose inverse [10].

3. Principes de l'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de filtration tangentielle qui permet l'extraction d'un solvant (le plus souvent de l'eau) d'une solution par perméation sélective à travers une membrane dense sous l'action d'un gradient de pression (Maurel 1998).

4. Phénomène d'osmose et osmose inverse

Le transfert de matière à travers une membrane d'osmose inverse se produit selon un mécanisme de dissolution/diffusion à travers un milieu semi-perméable. En effet, l'osmose est un phénomène naturel correspondant au transfert par diffusion de l'eau pure entre deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable. Le transfert d'eau est régi par le gradient d'activité de l'eau s'établissant entre deux solutions de concentrations différentes (eau pure et solution concentrée). Le flux d'eau est donc dirigé par le gradient d'activité existant de part et d'autre de la membrane semi-perméable c-à-d l'eau diffuse du compartiment le moins concentré vers le plus

concentré. Parallèlement, les solutés auraient tendance à diffuser du compartiment le plus concentré vers l'équilibre osmotique est atteint lorsque l'activité est égale de part et d'autre de la membrane. Cela se traduit par l'existence d'une différence de niveau entre les deux compartiments appelée pression osmotique. Elle correspond à la pression hydrostatique engendrée par la colonne de liquide. Si on applique une pression supérieure à la pression osmotique "sur le compartiment contenant la solution concentrée, on assiste à une inversion du flux d'eau, depuis la solution la plus concentrée vers la solution la moins concentrée, ce phénomène correspond à l'osmose inverse(fig III.2). Pour les solutions diluées, considérées comme thermodynamiquement idéales, la pression osmotique est calculée à partir de l'équation de Van't Hoff (Maurel 1998) :

$$\mathbf{CRT = II} \qquad \mathbf{[III.1]}$$

II : pression osmotique de la solution (Pa)

C : concentration de la solution (mol. $\boldsymbol{m^{-3}}$**)**

R : constante des gaz parfait (8,31 J.mol)

T : température (K**) [11].**

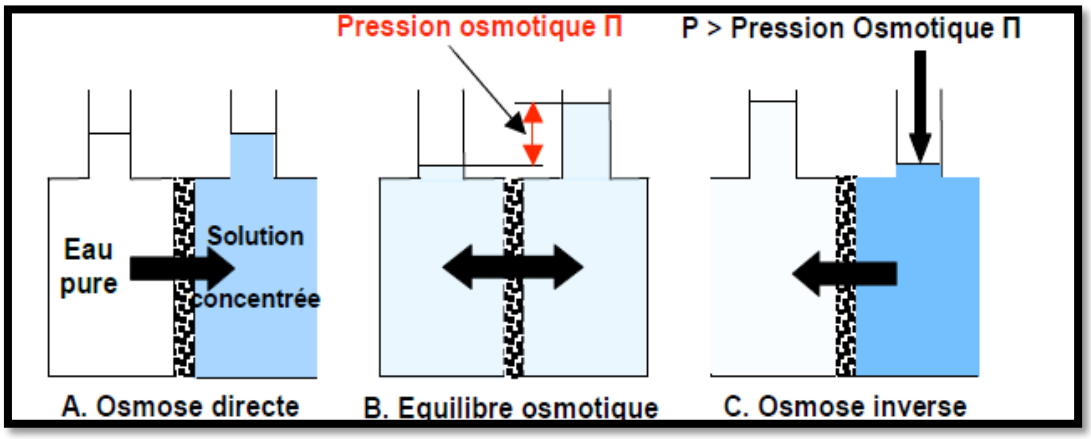


Figure [III .2] :L'osmose et l'osmose Inverse [11].

5. Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse :

➢ **Taux de conversion :**

Le taux de conversion(Y) est, par définition, la fraction du débit de liquide qui travers la membrane :

$$\boldsymbol{y = Q_p/Q_0} \qquad \mathbf{[III .2]}$$

$\boldsymbol{Q_p}$**:** Débit de permeat

$\boldsymbol{Q_0}$ **:** La solution à traiter.

- **Sélectivité :**

La sélectivité d'une membrane est en général définie par le taux de rejet de l'espèce (sel, macromolécule, particule) que la membrane est censée retenir : Le soluté de référence est souvent le chlorure de sodium (NaCl), compte tenu du fait que la déminéralisation des eaux est l'application la plus importante de l'osmose inverse. On trouve ainsi couramment des membranes qui ont été développés soit pour le dessalement De l'eau de mer et qui ont un taux de rejet au Na Cl de 99% environ, soit pour le dessalement des eaux saumâtres et qui ont o un taux de rejet au Na Cl de 96% et ceci pour des conditions déterminées prétoires (pression, température, taux de conversion…)

- **Débit spécifique ou densité du flux volumique :**

Pour une sélectivité donnée, le débit par unité de surface (densité par flux volumique) doit être la plus élevé passible de manière à minimiser la surface de membrane à mettre en œuvre et par là même investissement **[10].**

- **Mécanisme de transfert :**

Dans le cas de l'osmose inverse, les transferts de solvant et de soluté au travers d'une membrane semi-perméable se font par solubilisation-diffusion : toutes les espèces moléculaires (soluté et solvant) se dissolvent dans la membrane et diffusent à l'intérieur de celle-ci comme à travers un solide ou un liquide sous l'action d'un gradient de concentration et de pression. Les flux de solvant et de soluté à travers la membrane sont donnés par les deux relations suivant :

$$\boldsymbol{J_1 = A(\Delta P - \Delta \pi)} \qquad \textbf{[III.3]}$$

Avec :

J_1 (kg. m-2.S-1) : flux d'eau à travers la membrane,

A (kg $.s^{-1}.Pa^{-1}.m^{-2}$) : perméabilité de la membrane à l'eau,

ΔP(Pa) : différence de pression de part et d'autre de la membrane,

Δ π (Pa) : différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane,

$$\boldsymbol{J_2 = B\,\Delta c} \qquad \textbf{[III.4]}$$

Avec :

J_2(kg.$m^{-2}.s^{-1}$) : Flux de sel à travers la membrane,

B (m.s^{-1}) : perméabilité de la membrane au sel,

ΔC (kg.m^{-3}) : Différence de concentration en sel de part et d'autre de la membrane

6. Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse:

- **Pompe haute pression :** Avant d'entrer dans les membranes d'osmose inverse, l'eau clarifiée est pressurisée au moyen de la pompe haute pression pour assurer la conduction de l'osmose inverse où la pression fournie par la pompe est toujours plus grande de la pression osmotique .

- **Modules d'Osmose Inverse à spirales bobinées :** Les membranes OI les plus fréquemment utilisées en dessalement sont les "spiral wound Thin Film Composite". Elles consistent en des feuilles plates scellées telles des enveloppes et bobinées en spirales.

7. Membranes d'osmose inverse

- **Définition :**

L'osmose inverse met en œuvre des membranes semi-perméables denses non-poreuses qui permettent, lorsqu'elles sont placées entre deux phases fluides, le passage sélectif d'eau d'une phase vers l'autre. Les membranes sont le plus souvent fabriquées :

- En acétate de cellulose ;
- ou en polymères de synthèse (polyamides, polysulfones)

Elles peuvent être:

- **les membranes tubulaires :**

En pratique, la désignation de membranes tubulaires est réservée aux plus gros tubes (diamètre intérieur supérieur à 6 mm)



Figure [III.3] : Membranes tubulaire **[10].**

- **Les membranes planes** :

Les membranes sous formes de plaque plate sont appelées membranes pillow-shaped. Ce nom provient du fait que lorsque deux membranes sont assembles dans une unité ont obtient une forme d'oreiller. A l'intérieur du module, plusieur "pillow" sont placés avec une certaine distance entre aux, qui dépend du la quantité de solide dissout dans l'eau. Lorsque le traitement est fait le perméat est collecté dans l'espace entre les membranes d'où il est emporté par des drains

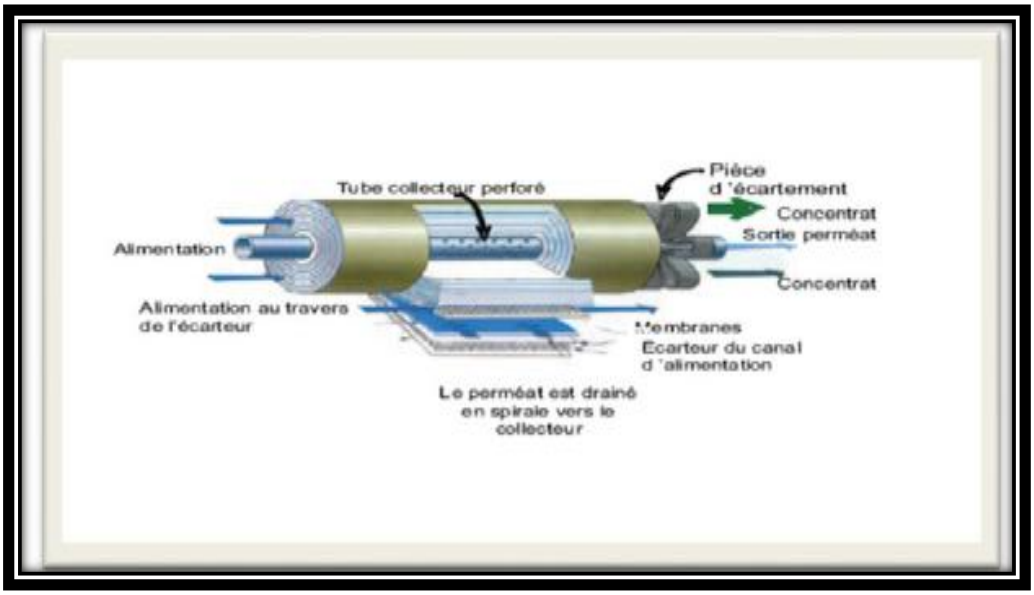


Figure [III .4] : Membranes planes [13].

- **Les membranes composites : (Thin Film Composite, TFC)**

Sont constituées d'une couche superficielle très mince (0,1 à 0,5 µm d'épaisseur) de très fine porosité et d'une sous-couche plus épaisse de porosité beaucoup plus large. La séparation a lieu dans la couche superficielle tandis que la sous-couche confère une résistance mécanique à la membrane. Les deux couches peuvent être faites de différents matériaux comme c'est le cas pour les membranes composites

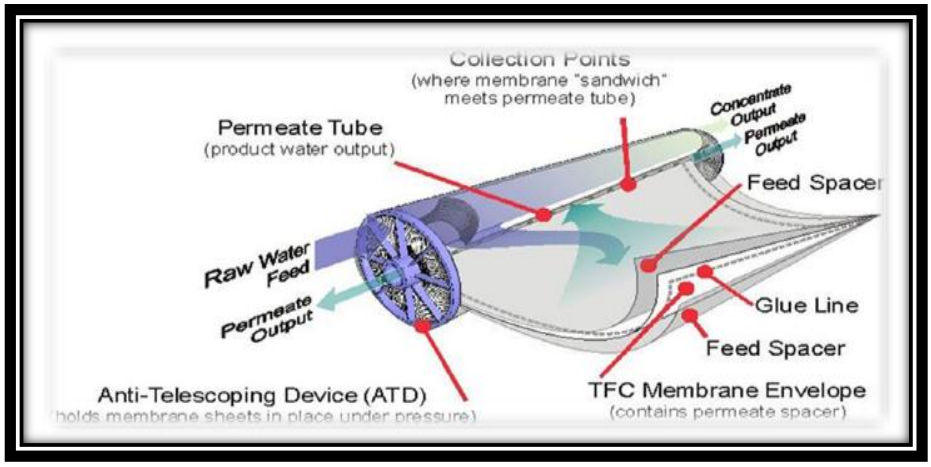


Figure [III.5] : Membranes composites **[10].**

8. Les caractéristiques des membranes :

Les membranes sont caractérisées par :

- qualités de stabilité chimique (pH, oxydants, dichlor ...),
- stabilité thermique (important facteur pour les utilisations biologiques où il y a stérilisation en autoclave),
- de stabilité microbiologique :(Dégradation bactérienne pour les membranes en acétate de cellulose)
- de résistance mécanique.

9. Types de membranes :

- **les membranes semi-perméables :** qui sont perméables à l'eau et à certains solutés mais imperméables à la très grande majorité des produits habituellement dissous dans l'eau, en particulier les molécules de la chimie organique. Ce sont les membranes utilisées en osmose inverse.
- **les membranes microporeuses :** qui agissent comme un tamis ou une passoire. Elles retiennent les particules de taille supérieure à celle de leurs pores. Ces nanomembranes sont perforées à l'aide d'un bombardement d'électrons. La taille des trous et les caractéristiques électrostatiques des polymères qui les composent permettent de contrôler la filtration de nombreux polluants **[12].**

10. Classification des membranes : Sont généralement classés suivant 4 catégories

- **Microfiltration(MF):** Met en œuvre des membranes dont les diamètres de pores sont compris entre 0,1 et 10 μm **[12].**



Figure [III.6] : microfiltration (MF) [10].

- **Ultrafiltration(UF) :**

Utilise des membranes microporeuses dont les diamètres de pores sont compris entre 1et 100 nm

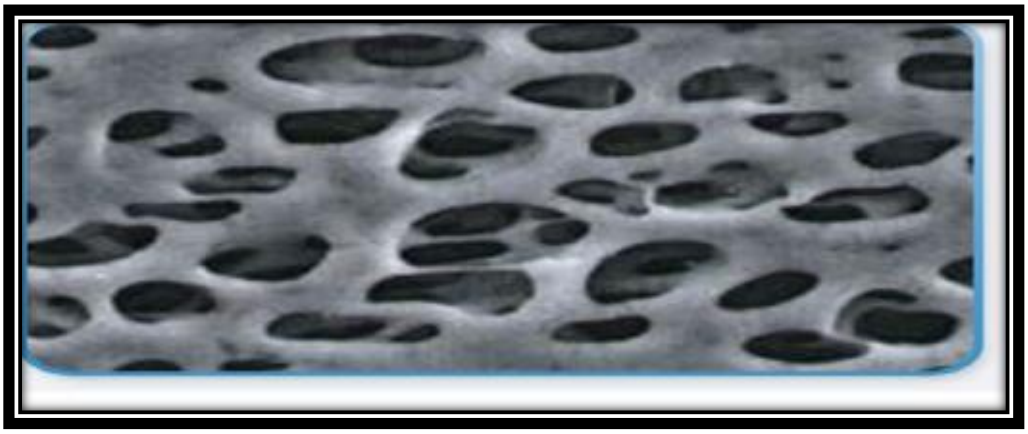


Figure [III.7] : Ultrafiltration (UF) [10].

- **Nano filtration(NF)**

Les membranes utilisées ont un seuil de coupure, variant de 1 à 5 nm mettant en perméation les ions monovalents et molécules de diamètre équivalent **[12].**

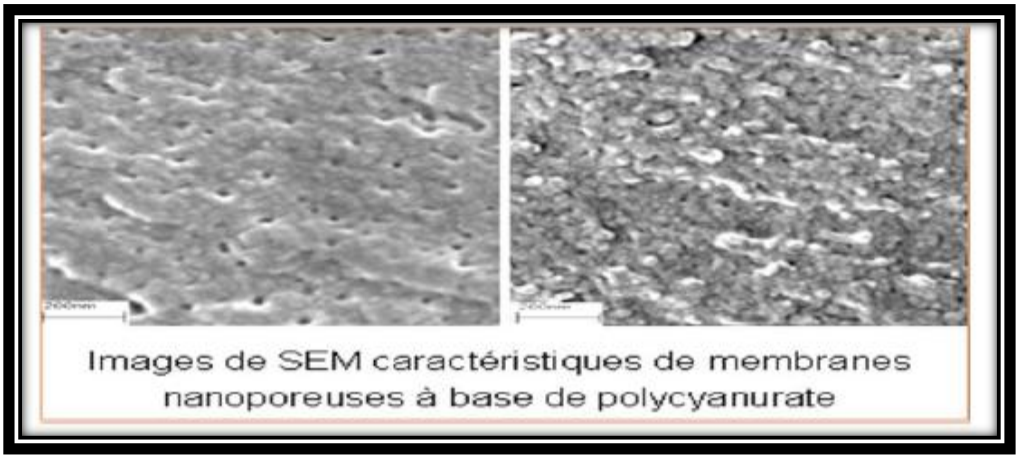


Figure [III .8] : Nano filtration (NF) [10].

- **Osmose inverse(OI) :**



Figure [III.9]: osmoses inverse (O I) [10].

le tableau suivant illustre quelques propriétés des membranes.

Propriété	**MF**	**UF**	**NF**	**OI**
Taille des pores (couche superficielle)	0.05àquelques µm	Quelques nm à100	$\sim$**1**nm	$<$1 nm[(a)]
Perméabilité à l'eau déminéralisée à25 ^{0}C (m s^{-1} Pa^{-1})	$\mathbf{10^{-8}}$ ***à*** $\mathbf{10^{-9}}$	$\mathbf{10^{-9}}$à$\mathbf{10^{-10}}$	$\sim\mathbf{10^{-11}}$	$\mathbf{10^{-11}}$à$\mathbf{10^{-12}}$

Tableau (III.1) : Les ordres de grandeur des tailles des pores des membranes d'OI, de NF, d'UF et de MF

(à) : La notion de pores dans le domaine de l'OI est difficile à définie, ce qui explique pourquoi certains auteurs considèrent ces membranes comme non poreuses.

11. Mécanismes généraux des traitements par osmose inverse :

- **Le choix de membrane :**
  - **Qualités :**

La membrane devra :

- ❖ avoir un haut pouvoir de rétention des sels tout en permettant un flux d'eau le plus grand possible avec une pression d'utilisation la plus faible possible.
- ❖ Être compatible chimiquement avec les sels dissous présents dans les eaux à traiter.
- ❖ posséder une bonne résistance à la compaction.

  - **Matériaux utilise:**

L'ensemble des qualités qui sont demandées aux membranes nécessite l'utilisation de matériaux adaptés, afin de résister aux contraintes qu'impose l'utilisation industrielle de l'osmose inverse .

Les matériaux utilisés pour leur conception sont actuellement les suivants**:**

- **L'acétate de cellulose :**

  Ces membranes acceptent des pH allant de 4 à 7. Elles peuvent être dégradées biologiquement et résistent à une eau chlorée.

- **les polyamides aromatiques :**

  Elles autorisent des pH allant de 4 à 11. Le contact avec les oxydants forts doit être évité.

- **Les composites :**

  Ce nom vient du fait que les deux couches constitutives de la membrane sont faites de matériaux différents. Ces membranes plus récentes sont caractérisées par une couche active très fine. (0.04 à 0.1 nm) Elles permettent ainsi le passage d'un flux plus important que les membranes précédentes et autorisent une large gamme de pH (de 2 à 11) .

12. Les paramètres qui influent sur la performance :

- **Facteur physique :**

  - **La température**

  Nous avons déjà vu que le débit s'accroît avec la température.

  Dans la pratique, la température maximale acceptable est entre 40 et 50°C.

  - **Les matières en suspension dans l'eau à traiter**

  Les membranes perdent toute leur efficacité si le dépôt est trop important et empêche le passage de l'eau. Il faudra donc éliminer ces particules, dans le cas d'une eau très chargée, par l'utilisation de prétraitements (floculation, filtration…) .

13. Présentation d'une unité d'osmose inverse :

Le principe d'une unité de traitement est la juxtaposition de différents postes élémentaires, selon un ordre choisi suivant les contraintes et la qualité voulue.

Il existe deux montages principaux :

- Le montage en parallèle
- Le montage série-rejet.

13.1. Le montage en parallèle :

Ce montage est le plus simple. Tous les postes élémentaires opèrent dans les mêmes conditions (même pression, même eau en entrée).

Le taux de conversion est suivi grâce aux deux manomètres branchés sur le rejet et sur la sortie d'eau traitée**.**

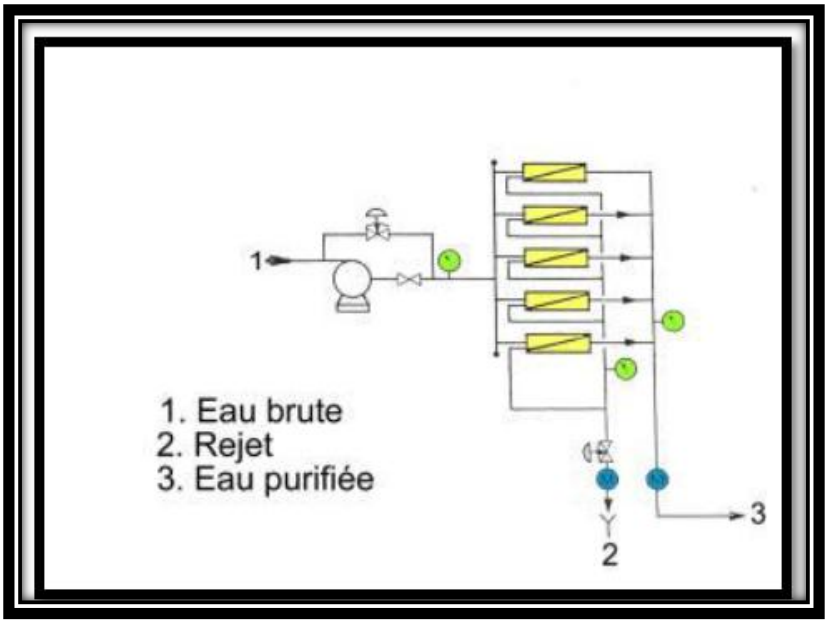


Figure [III.10] : La montage en parallèle [10].

13.2. Le montage en série :

Ce modèle est utilisé pour augmenter le taux de conversion pour la production d'une eau de plus haute qualité

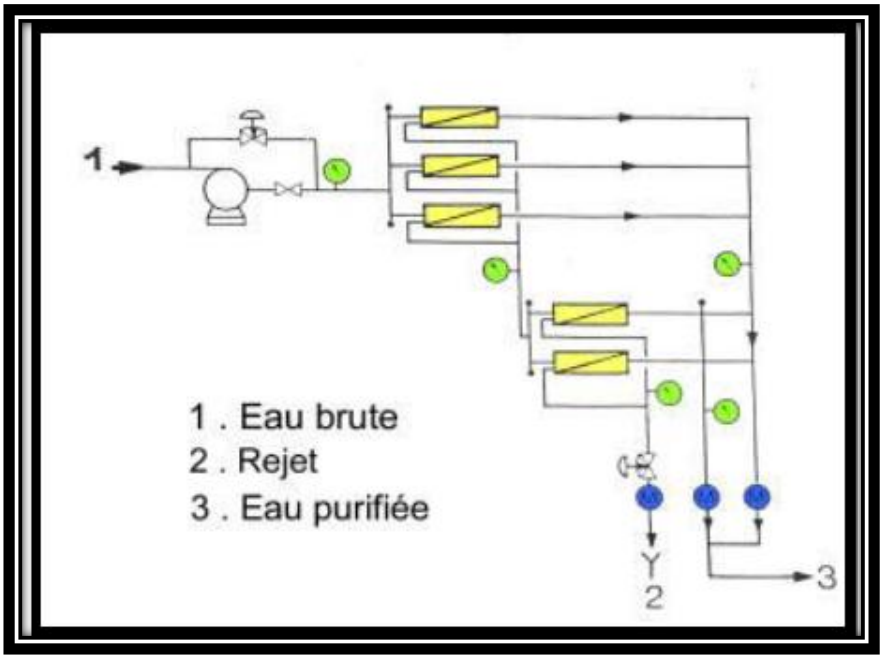


Figure [III .11] : la montage en série [10].

Ce poste se compose de deux étages de modules élémentaires. La caractéristique est l'alimentation du deuxième étage par les rejets du premier étage. Ce processus a pour effet d'augmenter le taux de conversion qui peut atteindre 70 à 90% pour des séries de 2 ou 3 étages.

14. Fabrication, installation et procédé :

L'osmose inverse est utilisée pour le dessalement de l'eau de mer et de l'eau saumâtre ou l'eau dite dure qui contient des sels comme le calcium et le magnésium. Il s'agit du procédé nécessitant la plus basse mise de fond et les coûts d'opération les plus faibles puisque sa consommation d'énergie est plus basse, sa construction plus facile et le procédé plus simple que la distillation. Tel que mentionné plus tôt c'est un procédé largement répandu qui est par le fait même bien connu, étudié et maîtrisé ce qui élimine une partie de l'incertitude liée à sa mise en place et son opération .

15. Caractérisation du procédé d'osmose inverse

L'osmose inverse présente les avantages suivants par rapport à la distillation**:**

- ✓ faible consommation énergétique,
- ✓ coût d'investissement plus faible,
- ✓ gamme étendue de capacités allant jusqu'à la production de plus de 100 000 m3 d'eau par jour,
- ✓ salinité de l'eau produite qui convient bien aux usages domestiques **[10].**

Conclusion

Osmose est un phénomène naturel essentiel aux équilibres concentre biologiques.

Osmose inverse est un solution technologique pour la purification et filtration des eaux lords, qui ne laisse passer que les molécules d'eau.

Membrane est l'élément essentiel dans osmose inverse, les membranes semi-perméables des osmoses sont des obstacles pour les sels tel que calcium et magnésium contient dans l'eau.

Pour éviter l'entartrage et le colmatage dans les conduits et l'échangeur de chaleur et maintenir la caractéristique du système, on recommande d'installer un système d'osmose inverse au niveau de la ligne d'alimentation d'eau pour la chaudière et les refroidissements.

Conclusion générale

Un échangeur de chaleur est un dispositif très importants des l'industrie qui permettant de transférer de chaleur entre les milieux et sans les mélanges. Il existe plusieurs types d'échangeur que nous avons détaille au deuxième partie dans chapitre II. Les modes de transfert de chaleur le plus dominant dans les échangeurs sont la conduction et convection.

Pour l'étude thermique d'un échangeur on utilise deux méthodes principales celle de la moyenne logarithmique de la différence de température ***DTLM*** et le nombre d'unité de transfert **NUT**, ces deux méthode pour simplifier les calcules de dimensionnement des échangeurs.

Parmi les problèmes causés par le phénomène de l'entartrage sur la transmission de la chaleur dans les échangeurs c'est la diminution de la température de transition et l'augmentation de l'épaisseur par le dépôt d'une couche de calcaire sur les parois des échangeurs.

L'osmose inverse est une solution technologique pour la purification et filtration des eaux lords, ce système nous permettrait de faire des économies d'eau au niveau des purges de déconcentration.

Pour éviter le problème de l'entartrage et le colmatage dans les échangeurs de chaleur on recommande d'installer un système d'osmose inverse au niveau de la ligne d'alimentation d'eau pour la chaudière, las refroidissements.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1]. Joseph Fourier, « théorie Analytique de la chaleur », plate forme TTE –Géni Civil ,1822 .

[2]. Frédéric Doummens, « Module LA 200 (Paris VI) », Université parre et Marie curie.

[3]. Omer Dunkerque, « I.U.T de saint », Département Génie thermique et énergie.

[4]. Nada Benayd, « Etude D'un Echanger : Tubulaire coaxial », Universite Mentouri 2008-2009.

[5]. Yves Jannot, « Introduction aux échangeurs de chaleur », 2^{eme}année Ecole des Mines Nancy, 2012.

[6].E. Rouland, « Les Echangeurs Thermiques », Université de Rouen GSI-M1, 2011-2012.

[7].M.P .Keine, « étude de colmatage et de sa cinétique des formations à l'interface graniére », /nappe /

[8].A.Khenfer, « les effets de l'entartrage sur la transmission de chaleur dans les échangeurs », Université de BBA- 2014

[9].koriba Bakhti, «Prévention et lutte contre le phénomène d'entartrage dans les conduites d'eau dans la région de Ouargla », Université Kasdi Merbah Ourgla2005-2006.

[10].Salah Bekkai, « L'influence de la force ionique sur le dessalement des eaux faiblement saumâtre », Université Tlemcen -2014.

[11]. Marjorie Gavach, «Détoxification de condensats de distillerie par L'OI, échange d'ions et leur combinaison .Application au recyclage en fermentation alcoolique », Agro Paris Tech, Fr-2010.

[12]. hydranet traitement des Eaux, http://www.hydranet.net n06/05/2015

Résume :

Parmi les plus grands problèmes connus pour traitement des eaux sont les problèmes de précipitation des sels sous formes d'hydroïdes des carbonates, ainsi que l'entartrage dans les conduites d'échangeur thermique.

Ces problèmes sont les résultats de plusieurs facteurs dont les plus importants qui sont la dureté très élevé des eaux utilisés dans l'échangeur, la température de paroi, le pH basique de l'eau, le CO_2soluble dans l'eau, quelques types de bactéries.

Dans cette étude, nous avons étudié l'effet de l'entartrage sur l'échangeur thermique. Il existe plusieurs méthodes physiques, et chimiques. Nous avons utilisé l'osmose inverse comme une solution de ce problème.

Abstract

Among the major known problems are those for treatment water , of the precipitation of salts in the form of carbonate hydroids as well as the scaling inside the heat exchanger pipes.

These problems result from many factors. The main ones are due mainly to the long duration of the use of water, the temperature of the wall, the basic pH of water, the soluble CO_2 in water, in addition to some types of bacteria.

In this study, we have studied the effect of scaling on the heat exchanger. There are many physical and chemical methods, and we have used the reverse osmosis as a solution to this problem.

ملخص:

من اكبر المشاكل المعروفة في مجال معالجة المياه هي مشاكل الرواسب الناتجة من الأملاح و كذلك ظاهرة التضخيم في المبادلات الحرارية هده المشاكل تكون نتيجة لعدة عوامل أهمها درجة حرارة الملامسات و غاز ثنائي أكسيد الكربون المنحل في الماء وبعض أنواع البكتيريا.

في هدا العمل المنجز المتواضع تطرقنا إلى دراسة أثار التضخيم في المبادلات الحرارية يوجد العديد من الحلول الكيميائية و الفيزيائية استخدمنا التناضح العكسي كحل فيزيائي لهده المشكلة وهده الطريقة المستعملة تتعلق بالعديد من الخصائص و التقنيات.