

Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

PHENOMENE D'ENTARTRAGE ET TECHNIQUES DE TRAITEMENT

Présenté par :

◆ EL YARTAOUI Saad-Eddine

Encadré par :

- ◆ Mr. EL MAHIR Hassan (ONEE-Branche eau)
- ◆ Pr HAUDI Amal (FST)

Soutenu Le 8 Juin 2018 devant le jury composé de:

- Pr. Haoudi Amal
- Pr. Chtioui Hicham
- Pr. Lhassani Abdelhadi

Stage effectué à ONEE-Branche eau KHEMISSET



Année Universitaire 2017 / 2018

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail :

A ma très chère mère,

A mon très cher père,

A mes très chers frères,

*A tous mes amis , mes professeurs , et
mes encadrants , je vous dois mon succès.*

REMERCIEMENTS

Je veux adresser tous mes remerciements aux personnes avec lesquelles j'ai pu échanger et qui m'ont aidé pour la réalisation et la rédaction de ce rapport .

Je voudrai tout d'abord remercier M. le directeur de l'office national d'électricité et de l'eau -branche eau de m'avoir accordé et accueilli comme stagiaire au sein de son département .

Egalement je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Mr. EL MAHER Hassan chef du laboratoire pour son aide très précieux , et le grand soutien .

Mes vifs remerciements vont à mon encadrant à la faculté des sciences et techniques de FES Pr. A. HAUDI pour sa disponibilité, pendant la période de stage ainsi que pour ces conseils.

je remercie les membres du jury Pr. CHTIOUI Hicham et Pr. LHASSANI Abdelhadi d'avoir accepté de juger et d'apprécier ce travail .

Il est lieu aussi d'adresser mes remerciements à toutes les personnes qui ont participé à réussir ce travail .

SOMMAIRE

<u>Introduction</u>	1
<u>Présentation de l'ONEE-Branche eau</u>	2
I. Historique	2
II. Mission de l'ONEE-Branche eau	2
III. Directions régionales	2
IV. Organigramme de l'ONEE-Branche eau de KHEMISSSET	3
<u>Chapitre 1 : Station de traitement El Kansera</u>	4
I. Situation géographique	5
II. Station de traitement	6
III. Etapes de traitement	7
1. Pré-filtration	7
2. Pré-chloration	7
3. Oxygénation	7
4. Coagulation-floculation	7
5. Décantation	8
6. Filtration	9
7. Désinfection ou chloration	9
8. Stockage - Pompage	10
<u>Chapitre 2 : Entartrage et détartrage</u>	11
A. Entartrage	12
I. Définition	12
1. Origine du tartre	12
2. Composition du tartre	13
3. Etapes de l'entartrage	13
II. Mécanisme d'entartrage	13
III. Equilibre calco-carbonique	14
1. Effet de pH	14
2. Effet de la teneur en CO ₂ dans l'eau	14
IV. Causes de l'entartrage	15
1. Dureté de l'eau	15
2. Température de l'eau	15
3. Présence dans l'eau l'éléments favorisants	15
4. Nature de la canalisation	16
V. Conséquences de l'entartrage	16
1. Conséquences hydrauliques	16
2. Conséquences Thermiques	17

3.	Conséquences bactériologiques	17
B.	Détartrage	18
I.	Méthodes chimiques	19
1.	Décarbonatation chimique	19
2.	Décarbonatation à la chaux et/ou à la soude	19
3.	Addition des inhibiteurs chimiques	21
II.	Méthodes électrochimiques	22
1.	Adoucissement électrochimique	22
2.	Microélectrolyse de l'eau	23
III.	Méthodes physiques	23
1.	Méthodes des aimants permanents	23
2.	Méthodes des ondes électromagnétiques	24
IV.	Solution technique : Cas ONEE-Branche eau	25
	<u>Conclusion</u>	27
	<u>Références bibliographiques</u>	28

LISTE DES FIGURES

<u>Figure 1</u> :Organigramme de l'ONEE Branche eau de KHEMISSET	3
<u>Figure 2</u> :Barrage EL Kansera	5
<u>Figure 3</u> :Situation géographique du barrage El Kansera	6
<u>Figure 4</u> :Station de traitement des eaux El Kansera.	6
<u>Figure 5</u> :Les cascades	7
<u>Figure 6</u> :Spectre de taille des substances dans les eaux naturelles	8
<u>Figure 7</u> :Bassins de coagulation-Floculation	8
<u>Figure 8</u> :Bassins décanteurs	8
<u>Figure 9</u> :Filtre à sable	9
<u>Figure 10</u> : Salle d'injection du chlore	9
<u>Figure 11</u> :Pompes de refoulement	10
<u>Figure 12</u> :Dépôt de tartre dans une canalisations de cuivre	12
<u>Figure 13</u> :Dépôt de CaCO_3	13
<u>Figure 14</u> :la conductivité thermique des types du tartre	17
<u>Figure 15</u> :les méthodes de détartrage	18
<u>Figure 16</u> :les étapes de décarbonatation à la chaux ou la soude	20
<u>Figure 17</u> :le seuil des inhibiteurs	21

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ONEE : l'office national d'électricité et de l'eau

DR : Direction régionale

NaClO : Hypochlorite de calcium

CaCO₃ : Carbonate de calcium

Al₂(SO₄)₃ : Sulfate d'alumine

ClO₂ : Bioxyde de Chlore

NH₄Cl : Chloramine

INTRODUCTION

L'eau est un facteur essentiel pour la vie , et une substance indispensable à la pérennité de tous les êtres vivants .Pour le protéger et l'exploiter , l'état à édifié l'ONEE-Branche eau , assure la production et la distribution de l'eau potable , ainsi que le contrôle de qualité des eaux .

En eau naturelle, l'entartrage est un phénomène caractérisé par l'apparition sur une surface, métallique ou non, d'un dépôt minéral.

Cette tendance à l'entartrage est le résultat de l'évolution naturelle de la chimie de l'eau en fonction des variations de température et pression .

Dans le présent travail , il a pour objectif d'étudier le problème d'entartrage, pour élaborer cette étude on traite quatre parties :

- La première partie sera consacrée à la présentation l'office national d'électricité et de l'eau-Branche eau .
- la deuxième partie sera dédiée à la description la station de traitement EL KANSERA.
- la troisième partie sera réservée à l'étude du phénomène d'entartrage .
- Enfin la dernière partie comportera les méthodes pour éliminer l'entartrage par différentes techniques .

PRESENTATION DE L'ONEE-Branche eau

I. Historique :

L'Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable est un établissement public marocain à caractère commercial et industriel, doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Il est placé sous la tutelle du ministère de l'équipement ; et sous le contrôle financier du ministère des finances.

ONEE-Branche eau été créé en 1972 suite à la régie d'exploitation industrielle créée par le dahir du 19 juillet 1929, c'est le premier établissement qui a régi un contrat plan avec l'état prévoyant les obligations et les droits de chaque partie.

II. Mission de l'ONEE-Branche eau:

Ses missions principales vont de la planification d'approvisionnement en eau potable du royaume et la programmation des projets , et l'étude d'approvisionnement en eau potable et assurer l'exécution des travaux des unités de production et de distribution , et aussi la gestion et exploitation des unités de production et de distribution et du contrôle de la qualité des eaux jusqu'à la protection de la ressource et ses derniers temps l'assainissement également. (ONEE-Branche eau)

III. Les directions régionales :

Chaque région a une direction régionale.

DR₁ : Direction régionale du Sud Agadir

DR₂ : Direction régionale Tansift-Marrakech

DR₃ : Direction régionale du centre Khouribga

DG : Direction générale à Rabat

DR₄ : Direction régionale de l'Ouest

DR₅: Direction régionale du centre Nord-Fès

DR₆: Direction régionale de l'oriental-Oujda

DR₇: Direction régionale du centre Sud-Meknès

DR₈: Direction régionale des provinces sahariennes

DR₉ : Direction régionale du Nord

IV. Organigramme de l'ONEE-Branche eau de KHEMISSET :

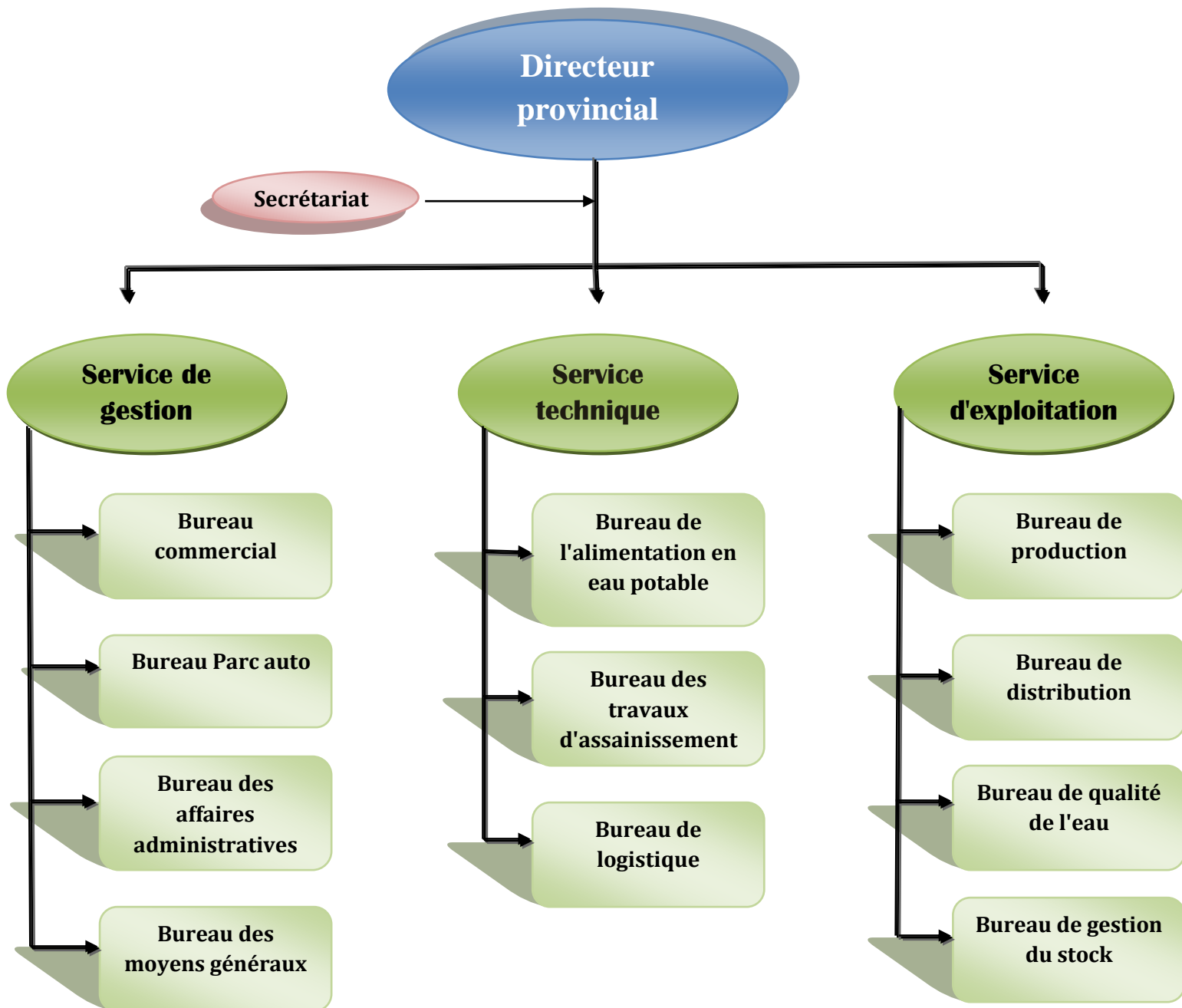


Figure 1 : organigramme de l'ONEE –Branche eau de KHEMISSET

CHAPITRE 1

STATION DE TRAITEMENT EL KANSERA



Figure 2 : Barrage EL Kansera(Google)

I. Situation géographique

Le barrage situé sur l'OUED BAHT qui est à 40 km de KHEMISSSET, sa capacité 250 Millions m³ , il a été mis en service en 1935 et il satisfait des plusieurs régions comme Ait Yadin ,Tidass..

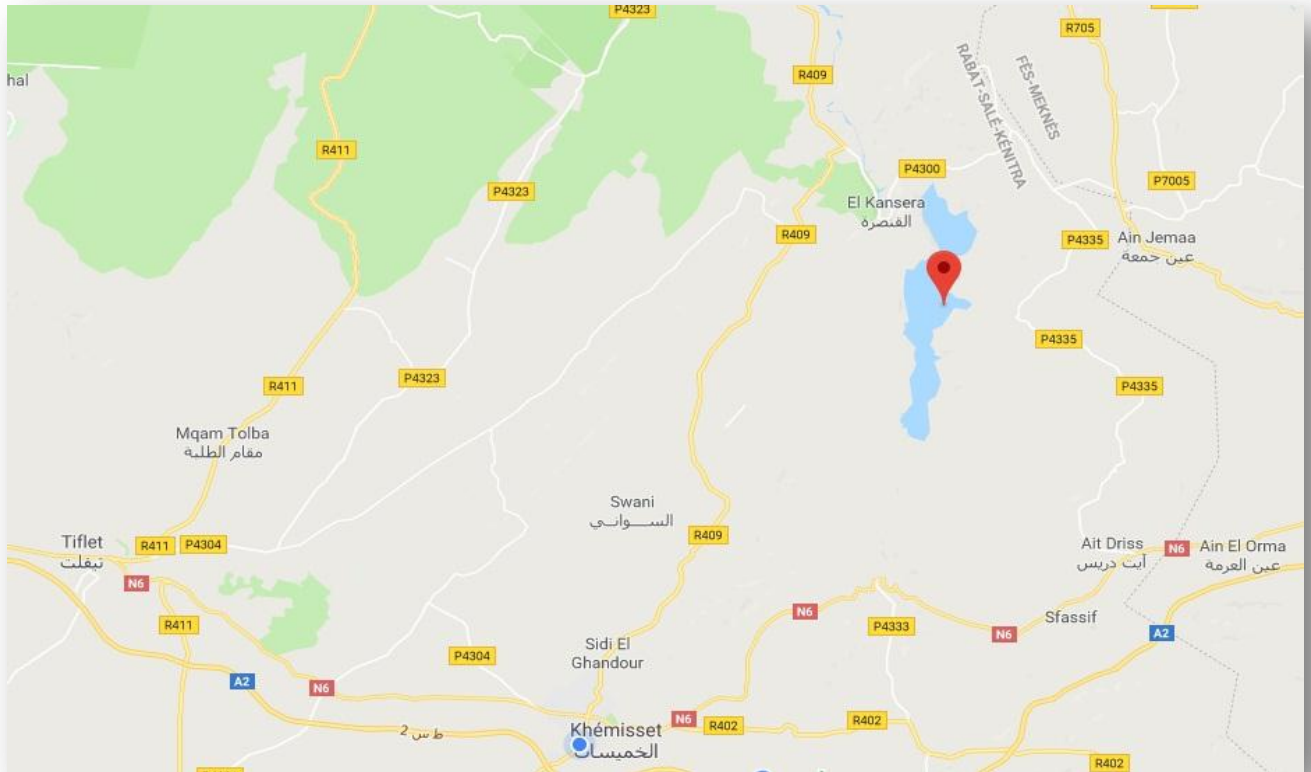


Figure 3 : situation géographique du barrage EL Kansera (GOOGLE MAPS)

II. Station de traitement



Figure 4 : Station de traitement des eaux El Kansera

III. Les étapes de traitement des eaux

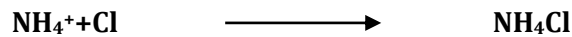
1. Pré-filtration

Objectif pour éliminer les impuretés .

2. Pré-chloration

Un procédé de traitement physico-chimique, afin d'améliorer le goût et l'odeur de l'eau, cette étape a pour but d'oxyder le fer et le manganèse avec utilisation du ClO₂.

Si NH₄⁺ est présent dans l'eau brute, le ClO₂ n'a pas d'effet par contre le chlore, mais à condition le taux de chlore soit 10 fois supérieur a celui de NH₄⁺



3. Oxygénation

Avant l'arrive l'eau de barrage qui est pauvre en oxygène, les cascades favorisent l'absorption dans l'eau de l'oxygène atmosphérique



Figure 5 : Les cascades

4. Coagulation - Flocculation

L'association de ces deux phénomènes est indispensable pour décanter les particules colloïdales.

i. Définition d'une particule colloïdale :

Ces particules en suspension, ayant des tailles compris entre 1nm et 1µm et étant chargées électro négativement, ce qui engendrant des forces de répulsions inter colloïdales, cela confère aux colloïdes une vitesse de sédimentation extrêmement faible.

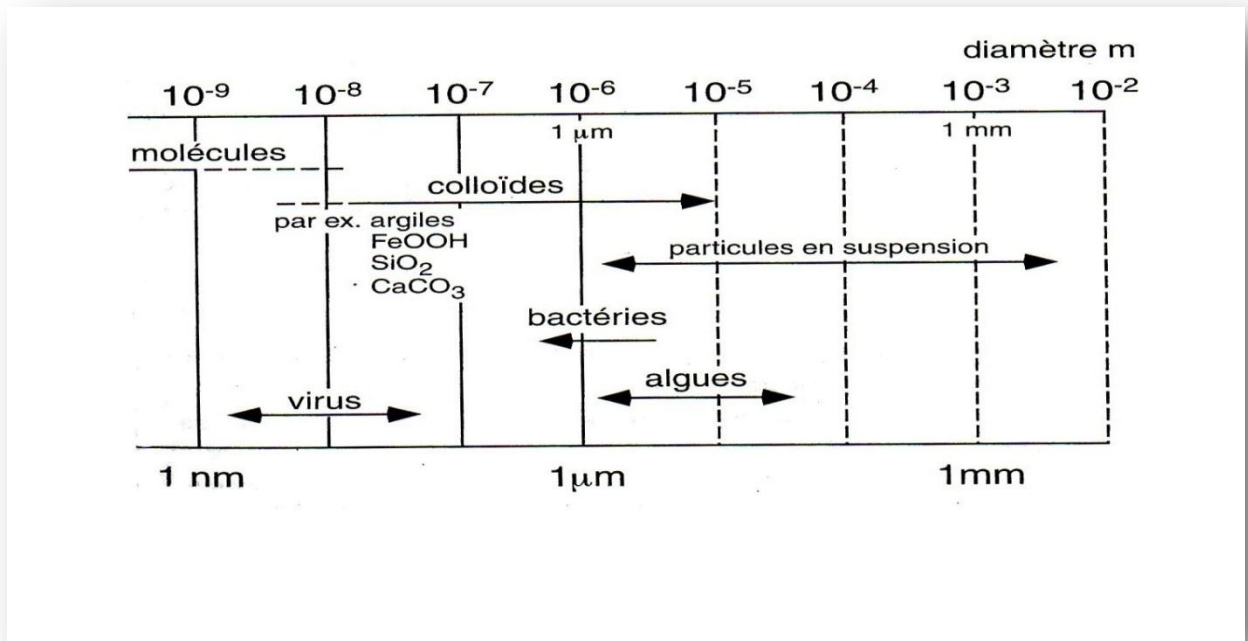


Figure 6: Spectre de taille des substances dans les eaux naturelles

ii. Coagulation :

C'est une déstabilisation des particules colloïdales et formation des micro micelles par l'ajout de $Al_2(SO_4)_3$.

iii. Floculation :

Rassemblement des micro micelles sous forme séparée de la phase aqueuse par l'ajout de poly-électrolyte, cette agglomérat de colloïdes appelé : **Floc**.



Figure 7: Bassins de coagulation -Floculation

5. Décantation

La décantation se fait dans le bassin décanteur par l'utilisation des forces de gravité, les décanteurs au nombre de 4, sont de types rectangulaires étagés.



Figure 8 : Bassins décanteurs 8

Les résidus sont déposés au fond du décanteur et sont ensuite évacués à l'aide d'un système de raclage entraîné par les moteurs en jaune.

6. Filtration

C'est le procédé de séparation solide liquide de finition, elle se fait par gravité au niveau des bassins de filtration qui sont remplis d'environ 150cm de sable.

L'eau est filtré à travers le filtre à sable et directement injecter vers les bassins de désinfection.



Figure 9 : Filtre à sable

7. Désinfection ou chloration

i. l'Objectif

La désinfection permet de diminuer le nombre des maladies hydriques prévenantes de l'eau en éliminant les microorganismes pathogènes dues aux virus et aux microbes.



Figure 10 : Salle d'injection du chlore

ii. le principe

Le chlore ou ses dérivés chlorés, le cas de ONEE branche eau l'eau de javel (NaClO) est un oxydant puissant qui mélangé à l'eau brule les matières organique qu'elle contient en une demie heure.

la quantité de produit chloré nécessaire varie selon la qualité de l'eau brute, et la concentration en chlore libre de l'eau traitée doit être de 0.2 à 0.5 mg/l et le pH est inférieur à 8 selon les normes.

8. Stockage - Pompage

L'eau traitée est stocké dans le réservoir, en attendant son refoulement vers les réseaux.

La station de pompage est constituée de 5 groupes moteurs pompe qui permettent chacune un débit de refoulement de 354 m³/s.



Figure 11 : Pompes de refoulement

❖ Remarque :

Si le niveau d'eau au barrage est très bas, la filtration sur charbon actif consiste à éliminer la prolifération du mauvais goût et de mauvaise odeur.

CHAPITRE 2

ENTARTRAGE ET DÉTARTRAGE

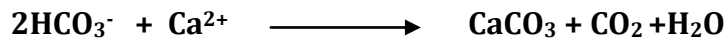
A. Entartrage

I. Définition

L'entartrage est le dépôt de tartre sur un objet ou à l'intérieur d'une canalisation . Il est formé principalement par les carbonates de calcium présent dans l'eau .

1. L'origine de ce tartre

L'eau provenant du sous-sol, des fleuves, rivières, lacs, puits ou du robinet, contient en plus ou moins grande quantité des minéraux dissous sous forme de sels, ces minéraux peuvent précipiter ou cristalliser, comme les sels minéraux qui restent sous la forme d'ions dans l'eau froide , précipitent sous forme de carbonate de calcium :

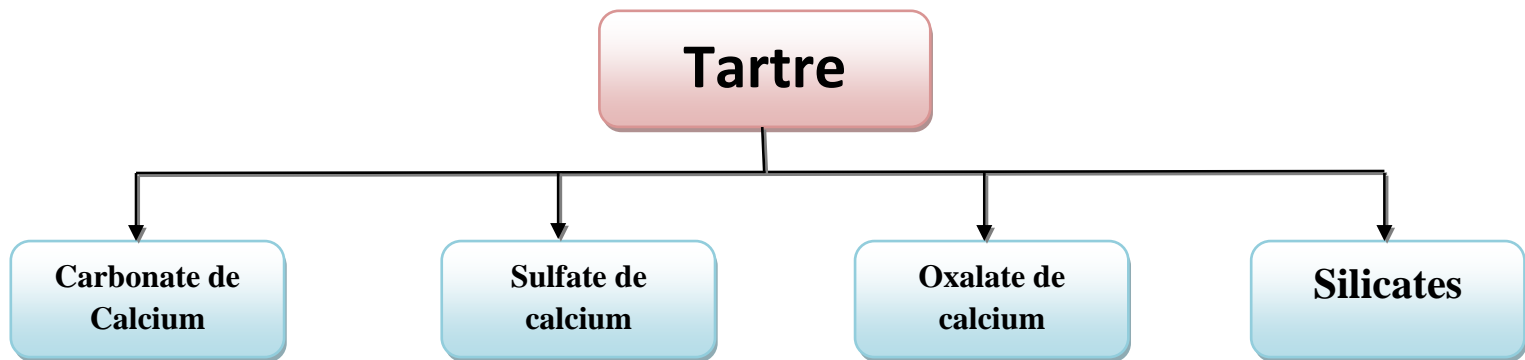


Quand l'épaisseur de tartre est importante, Cela peut constituer un véritable obstacle pour le transport du fluide.



Figure 12 : Dépôt de tartre dans une canalisation de cuivre

2. La composition du tartre

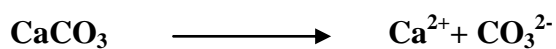


3. les étapes de l'entartrage

- ✓ **Germination :**
Elle consiste en l'apparition d'une phase solide stable au sein d'une solution (séparée), par l'association d'ions calcium et d'ions carbonates. Elle résulte de deux processus en parallèle.
- ✓ **La croissance cristalline :**
Les germes de précipitation ainsi constitués, peuvent alors croître par dépôts successifs d'ions de même nature sur leur surface.

II. Mécanisme d'entartrage

Le carbonate de calcium est en équilibre en solution avec l'ion calcium et l'ion carbonate suivant la réaction :



$$K_s = [\text{CO}_3^{2-}] \cdot [\text{Ca}^{2+}]$$

Avec K_s est le produit de solubilité.

Pour avoir précipitation du carbonate de calcium, il est nécessaire d'avoir

$$[\text{CO}_3^{2-}] \cdot [\text{Ca}^{2+}] > K_s$$

La solubilité du carbonate de calcium est donc liée à la concentration en calcium et en carbonates et donc aux concentrations des différents composés du **dioxyde de carbone**.



Figure 13 : Dépôt de CaCO_3

L'équilibre qui lie donc le calcium aux composés du dioxyde de carbone est appelé **équilibre calco-carbonique**.

III. L'équilibre calco-carbonique

C'est l'état d'une eau dont les teneurs en Ca^{2+} , CO_2 libre, bicarbonates et carbonates sont telles que, mise en contact avec du calcaire, ses caractéristiques ne changent pas.

On peut classer les eaux en fonction de la valeur de leur pH vis à vis de pH_s , et en fonction de la teneur en CO_2 libre.

1. Effet de pH

- **Si $\text{pH} > \text{pH}_s$** : les eaux ont tendance à déposer du CaCO_3 , elles sont dites **entartrantes ou incrustantes**.
- **Si $\text{pH} < \text{pH}_s$** : les eaux ont tendance à dissoudre du carbonate de calcium, elles sont dites **agressives**.

i. le CO_2 total dans l'eau

Le CO_2 total correspond à la somme des espèces carboniques dans l'eau :

$$\text{CO}_2 \text{ total} = [\text{H}_2\text{CO}_3] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$$

ii. Les formes de CO_2 dans l'eau

- **Soit libre** : (correspond à H_2CO_3)
Une partie sert à maintenir les carbonates en suspension et on l'appelle « CO_2 équilibrant », et le CO_2 excédentaire au CO_2 équilibrant est appelé « CO_2 agressif ».
- **Soit combiné** : pour former les molécules de carbonate et de bicarbonate.

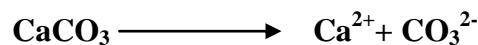
2. Effet de la teneur en CO_2 libre :

- **Si le CO_2 libre < CO_2 équilibrant** : il y a déséquilibre calco-carbonique. Les tartres (carbonates et bicarbonates de calcium en particulier) vont précipiter. L'eau devient opaque → le phénomène d'entartrage s'enclenche.
- **Si le CO_2 libre = CO_2 équilibrant** → Les tartres restent alors en suspension dans l'eau.
- **Si le CO_2 libre > CO_2 équilibrant** → formation de H_2CO_3 .

IV. Causes de l'entartrage

1. Dureté de l'eau :

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. Cela est expliqué par la réaction :



-Ainsi, pour avoir la précipitation du carbonate de calcium, il est nécessaire d'avoir $[\text{CO}_3^{2-}] \cdot [\text{Ca}^{2+}] > K_s$, ce qui est le cas lorsqu'on a une eau dure, et donc riche en Ca^{2+} .

2. Température de l'eau :

La réaction chimique : $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \longrightarrow \text{CaCO}_3$

qui provoque la précipitation du carbonate de calcium est largement favorisée par l'élévation de la température.

- A l'ONEE – Branche eau, l'augmentation de la température ambiante, et donc la température des canalisations provoque un échange de chaleur avec l'eau qui ainsi se chauffe, cela peut favoriser le phénomène d'entartrage.

3. Présence dans l'eau d'éléments favorisants :

Deux types d'eau de compositions identiques et placées dans les mêmes conditions n'ont pas forcément le même pouvoir entartrant.

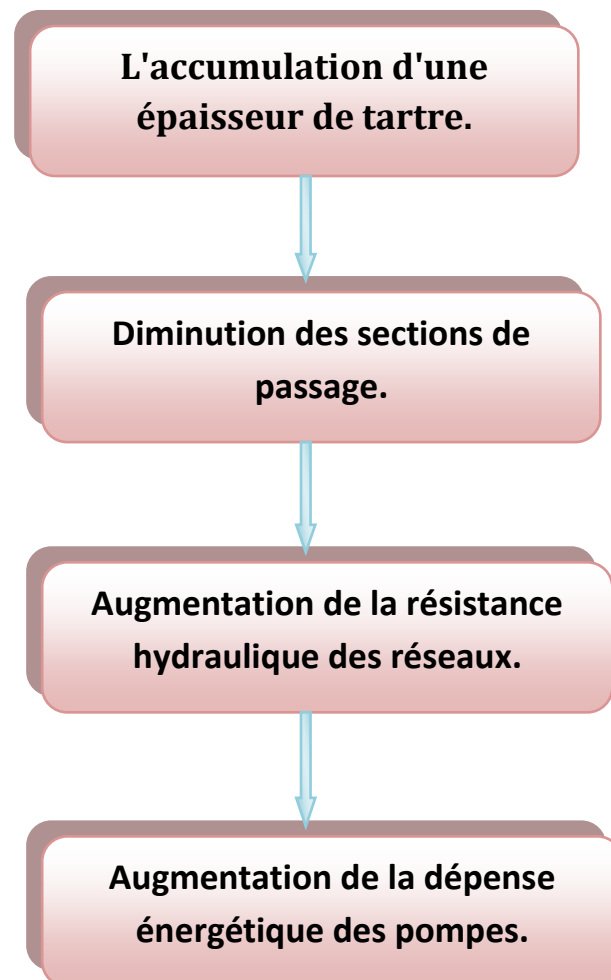
- Ainsi, la présence dans l'eau d'ions cuivre ou d'ions zinc freine le dépôt de tartre qui reste en suspension dans l'eau. En revanche l'ion Fe^{2+} (issu de la corrosion des parties métalliques d'une installation) même en faible quantité « de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de microgrammes par litre » est connu pour être un élément favorisant.

4. Nature de la canalisation : Cuivre recommandé

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

V. Conséquences de l'entartrage

1. Conséquences hydrauliques



L'entartrage peut même arriver jusqu'à causer un blocage Complet ce qui peut engendrer des conséquences néfastes par exemple les explosions .

2. Conséquences thermiques

Le tartre a un faible coefficient de transfert thermique.

Qualité d'échange affaiblie.

Type de tartre	Conductivité thermique en W/m ^{°K}	Epaisseur de la couche de tartre	Perte d'efficacité
CaCO ₃	1,5 à 1,8	0,1 mm	7%
		0,25 mm	15%
		0,5 mm	26%
		1 mm	41%
CaSO ₄	0,6 à 2,3	0,1 mm	9%
		0,25 mm	20%
		0,5 mm	33%
		1 mm	50%
SiO ₂	0,08 à 0,18	0,1 mm	50%
		0,25 mm	71%
		0,5 mm	83%
		1 mm	91%

Figure 14 : la conductivité thermique des types du tartre

3. Conséquences bactériologiques

Il a été montré que les réservoirs, les réseaux et les points de puisage (tels que les robinets) des réseaux d'eau chaude sanitaire pourraient, s'ils étaient entartrés, être favorables à « l'accueil » et à la prolifération de Legionelles.

B. Détartrage

Il existe différentes méthodes pour éliminer ou au moins limiter le phénomène de l'entartrage .

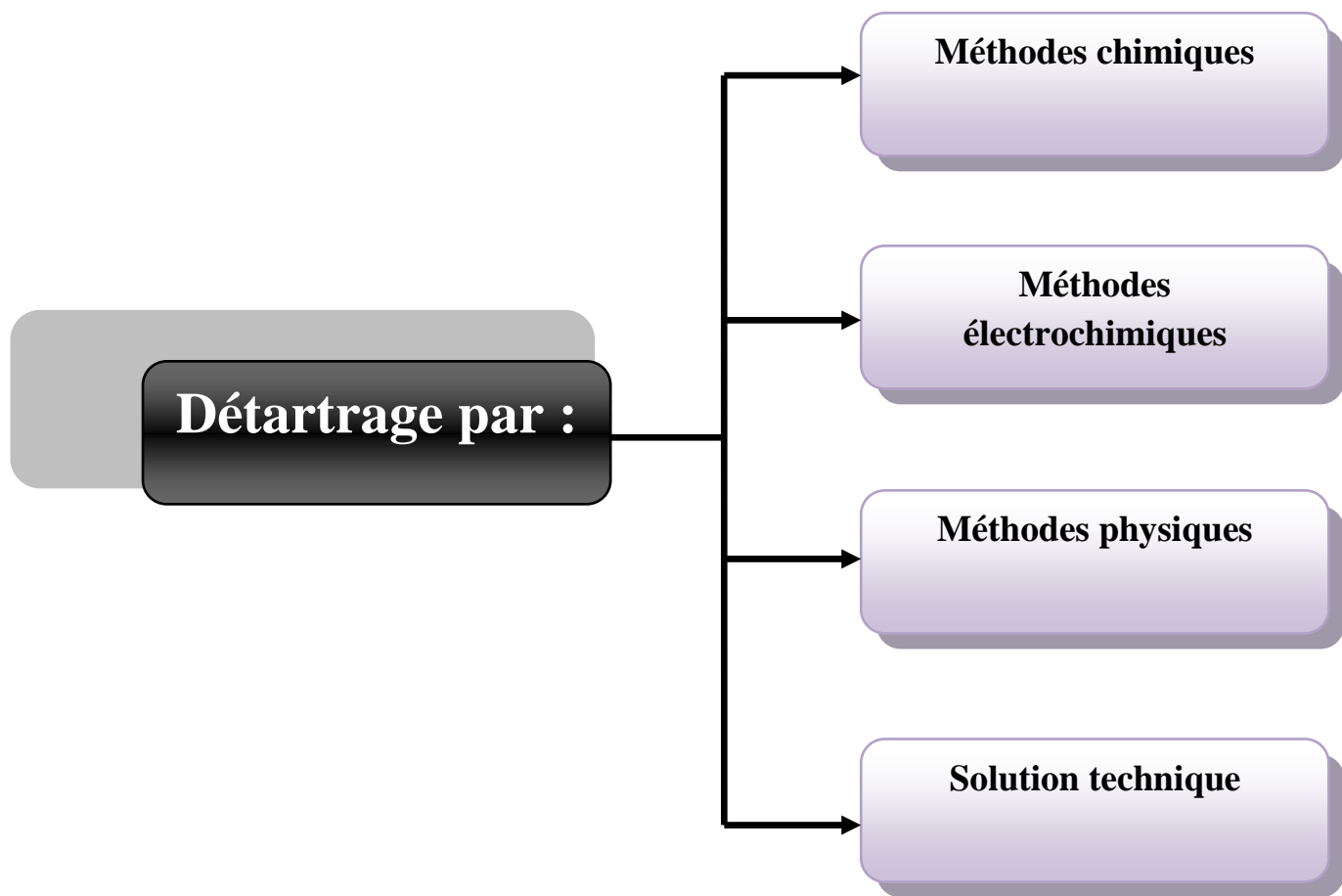
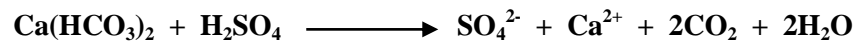


Figure 15 : les méthodes du détartrage

I. Méthodes chimiques

1. Décarbonatation chimique

Cette méthode consiste à la décomposition des bicarboniques par un acide fort :



i. Avantages :

Cette technique ne nécessite aucun appareillage de grande dimension.

ii. Inconvénients :

- Abaissement du pH de l'eau → Corrosion
- Augmentation de la teneur en sel d'acide fort.

2. Décarbonatation à la chaux et/ou à la soude

Principe : lutter contre l'entartrage avant qu'il soit formé, en éliminant « a priori » la dureté bicarbonatée liée au calcium et au magnésium qui cause la formation du tartre. (sorte de prévention)

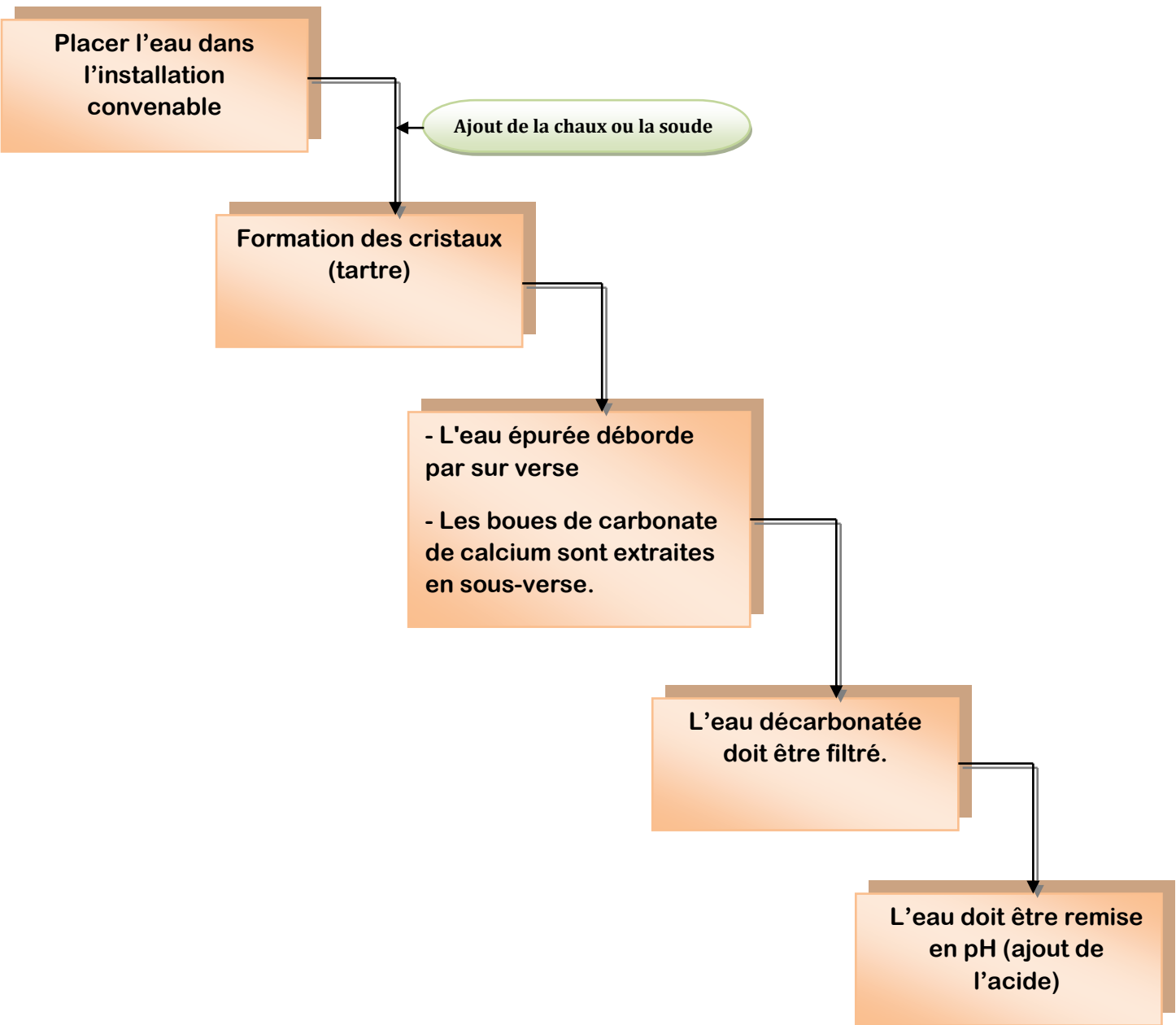
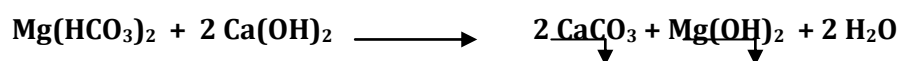


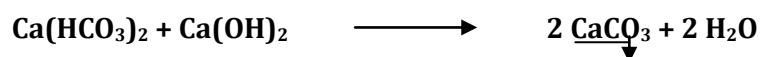
Figure16:les étapes de décarbonatation à la chaux ou à la soude

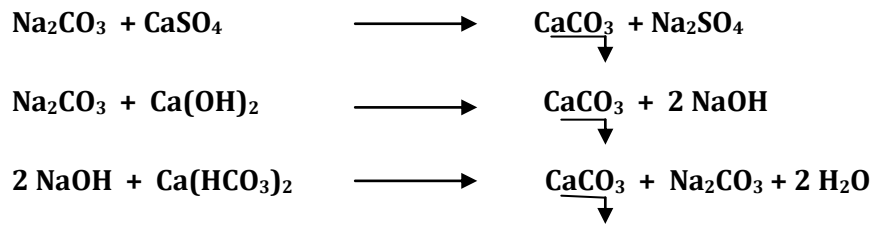
Deux cas se présentent :

Ajout de chaux seulement :



Ajout de chaux et la soude :





i. Avantages

Méthode plutôt efficace.

ii. Inconvénients

- Procédé couteux.
- Procédé nécessitant de grandes installations de séparation et de filtration, ce qui semble délicat dans le cas de l'ONEE-Branche eau .

3. Addition des inhibiteurs chimiques :

Cette méthode est aussi faite « a priori », avant que le tartre soit formé.

Les inhibiteurs s'adsorbent de façon sélective sur les sites de croissance des cristaux. Cette adsorption altère le mécanisme de croissance de sorte que les cristaux se développent plus lentement et sont fortement déformés. Ceci entraîne un retard à la croissance du cristal.

La plupart des produits inhibiteurs peuvent être classés en familles ayant un groupement ou une architecture similaire, mais les plus courants sont **les organo-phosphonates**.

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

Figure 17 : le seuil des inhibiteurs

i. Avantages :

Méthode ne nécessitant pas de séparation ni de grandes installations.

ii. Inconvénients

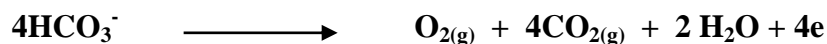
- Ils sont un nutriment des bactéries,
- Pour des raisons sanitaires et environnementales, la loi interdit l'usage de phosphates dans les lessives depuis le 1er juillet 2007 (décret n°2007-491 du 29 mars 2007).

II. Méthodes électrochimiques

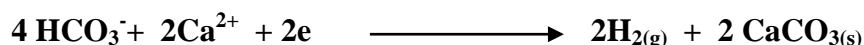
1. Adoucissement électrochimique :

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

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



Et **une cathode** où l'hydrogène H^+ de l'anion (HCO_3^-) est réduit en hydrogène selon la réaction



i. Avantages

Méthode efficace.

ii. Inconvénients :

- L'eau adoucie n'est pas recommandée pour la consommation humaine, (décret n°2001-1220 du 20.12.2001).
- L'eau adoucie en dessous de 15°F corrode canalisations et soudures.
- Les cristaux créés peuvent se redéposer ailleurs,
- Les électrodes émettent des ions métalliques dans l'eau,
- Il existe un risque d'effets de pile.

2. Microélectrolyse de l'eau

Cette méthode est plus utilisée dans le dessalement des eaux de piscines, mais elle peut aussi servir à éliminer le phénomène d'entartrage.

Deux appareils sont connus dans cette industrie : **l'appareil Eautonic** et **l'appareil DES Alpha 2**.

▪ **L'appareil Eautonic :**

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

▪ **L'appareil DES Alpha 2 :**

Cet appareil comporte une cuve de traitement où circule l'eau. Elle est munie d'une électrode cylindrique de 70 mm de diamètre et d'une électrode coaxiale constituée d'une tige métallique de 10 mm de diamètre. Un générateur électronique permet d'appliquer aux électrodes une tension, variable en fonction du temps, semblable à des décharges de condensateur et dont la fréquence dépend du débit d'eau traversant la cuve.

III. Méthodes physiques

1. Méthode des aimants permanents

- Le procédé consiste à faire passer l'eau à traiter à travers une succession d'aimants permanents. Certains fabricants insistent sur l'importance d'un cheminement hélicoïdal de l'eau à travers les aimants.

- Les aimants permanents sont composés de : fer (51%), cobalt (24%), nickel (14%),aluminium (8%) et de cuivre (3%).
- Les auteurs considèrent que ce champ magnétique a une action sur la diminution des dimensions des particules de carbonate de calcium.

2. Méthode des ondes électromagnétiques

- La méthode consiste à envoyer des ondes électromagnétiques de moyenne fréquence dans une antenne bobinée à spires jointives sur une canalisation transportant l'eau à traiter.
- Ce champ magnétique a une action sur la diminution des dimensions des particules de carbonate de calcium.

i. Avantages :

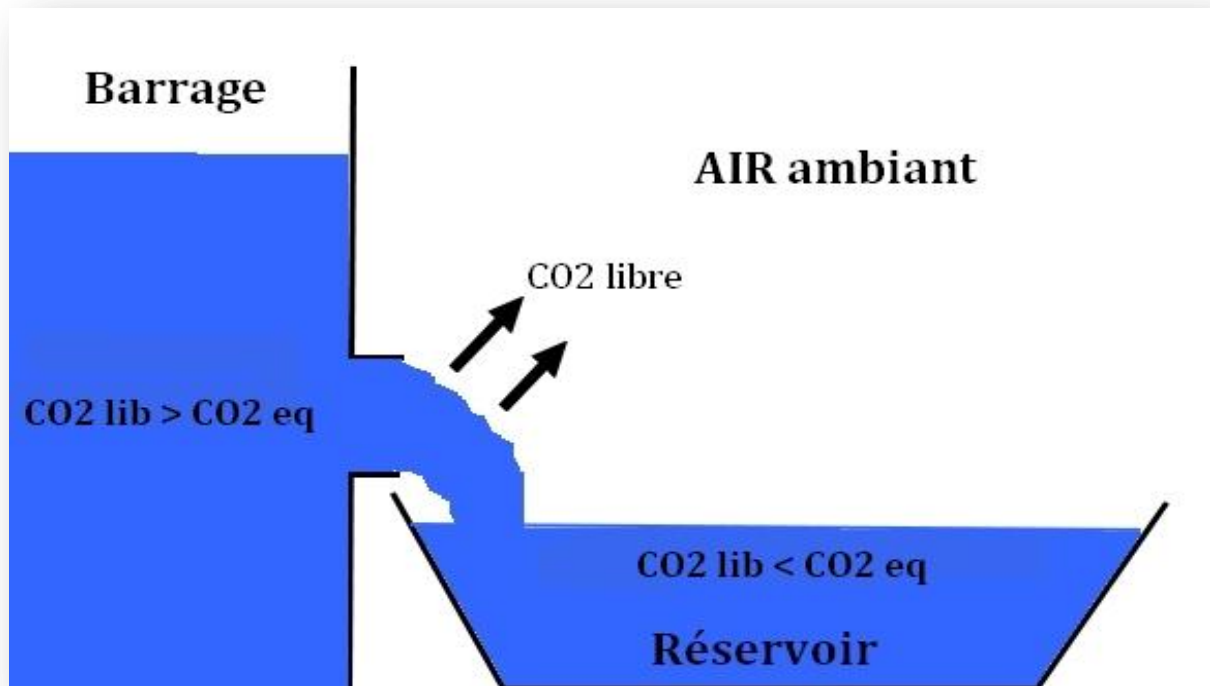
- Méthodes peu coûteuses
- Ne nécessitent pas de grandes installations

ii. Inconvénients :

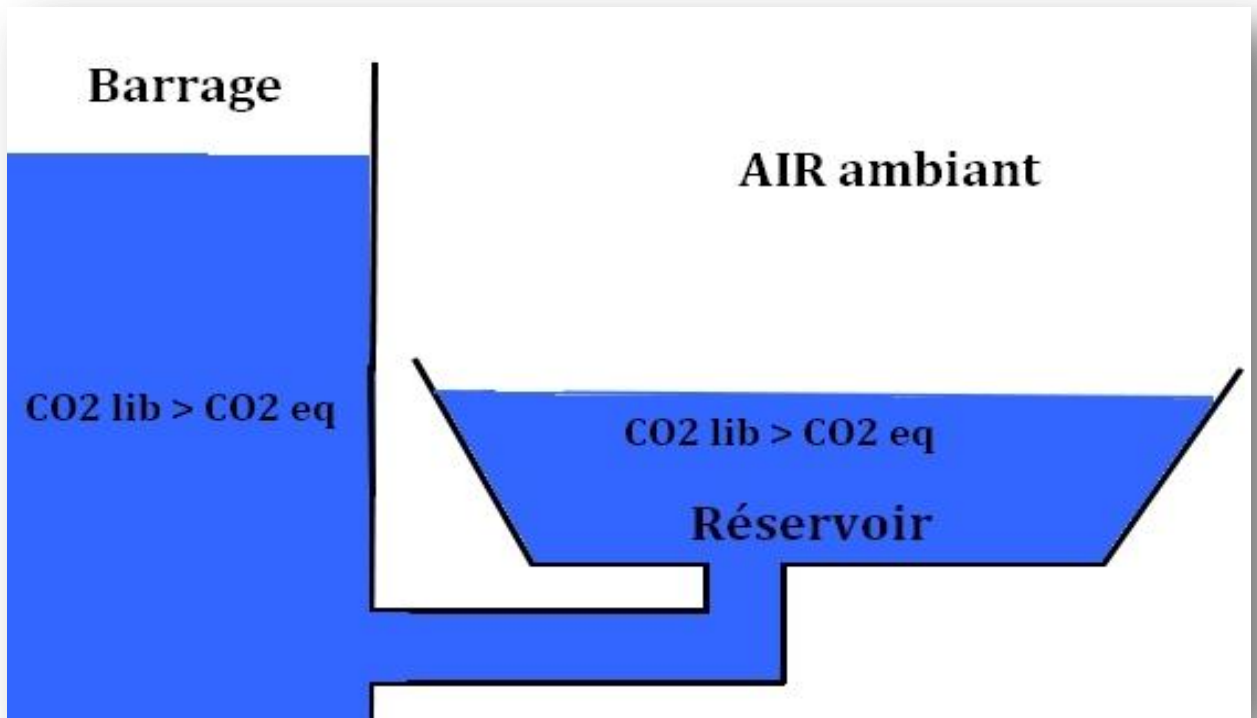
- Très peu efficace
- La vitesse de l'eau insuffisante (la vitesse maximum autorisée dans les canalisations est de 2 m/s)
- La puissance des aimants inadaptée.

IV. Solution technique : Cas ONEE-Branche eau

Le problème sera attaqué dès l'arrivée de l'eau au réservoir.



- L'eau, se dirigeant vers le bassin réservoir, perd en CO2 libre qui est absorbé par l'air ambiant.
- Quand la concentration du CO2 équilibrant devient supérieure à celle du CO2 libre, l'eau devient entartrant



- La solution alors mise en œuvre consiste à empêcher l'eau de faire cet échange avec l'air ambiant, et cela en barbotant l'eau du bas de réservoir, au lieu du haut.
- Cette solution réduit considérablement le pouvoir entartrant de l'eau, c'est pourquoi elle est mise en place à l'ONEE-Branche eau .

CONCLUSION

L'entartrage est un phénomène assez complexe et son étude nécessite un suivi ponctuel. L'accroissement des dépôts de tartre au cours du temps dépend d'un certain nombre de paramètres .

Durant mon étude , j'ai essayé de traiter des méthodes pour éliminer l'entartrage des eaux comme :

- Méthodes chimiques
- Méthodes électrochimiques
- Méthodes physiques
- Solution technique

Lors de ce stage j'ai pu résoudre le problème de l'entartrage des eaux pendant le stockage dans le réservoir .

Mais l'eau traitée sera influencée par un autre problème lors de sa distribution . Ce problème est l'évolution de l'entartrage dans les conduites de distribution d'eau .

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **EDYA , Protection naturelle des réseaux d'eau .**
- **ONEP, normes marocaines relatives aux eaux d'alimentation humaine.**
- **Site web :** [https://fr.wikipedia.org/wiki/Tartre_\(eau\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Tartre_(eau))
- **Site web :** <http://www.onep.ma>