

OFPPT

ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail
DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION

**RESUME THEORIQUE
&
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES**

MODULE N°19 : TRAITEMENT DES EAUX

SECTEUR : FROID ET GENIE THERMIQUE

SPECIALITE : MAINTENANCE HOTELIAIRE

NIVEAU : TECHNICIEN

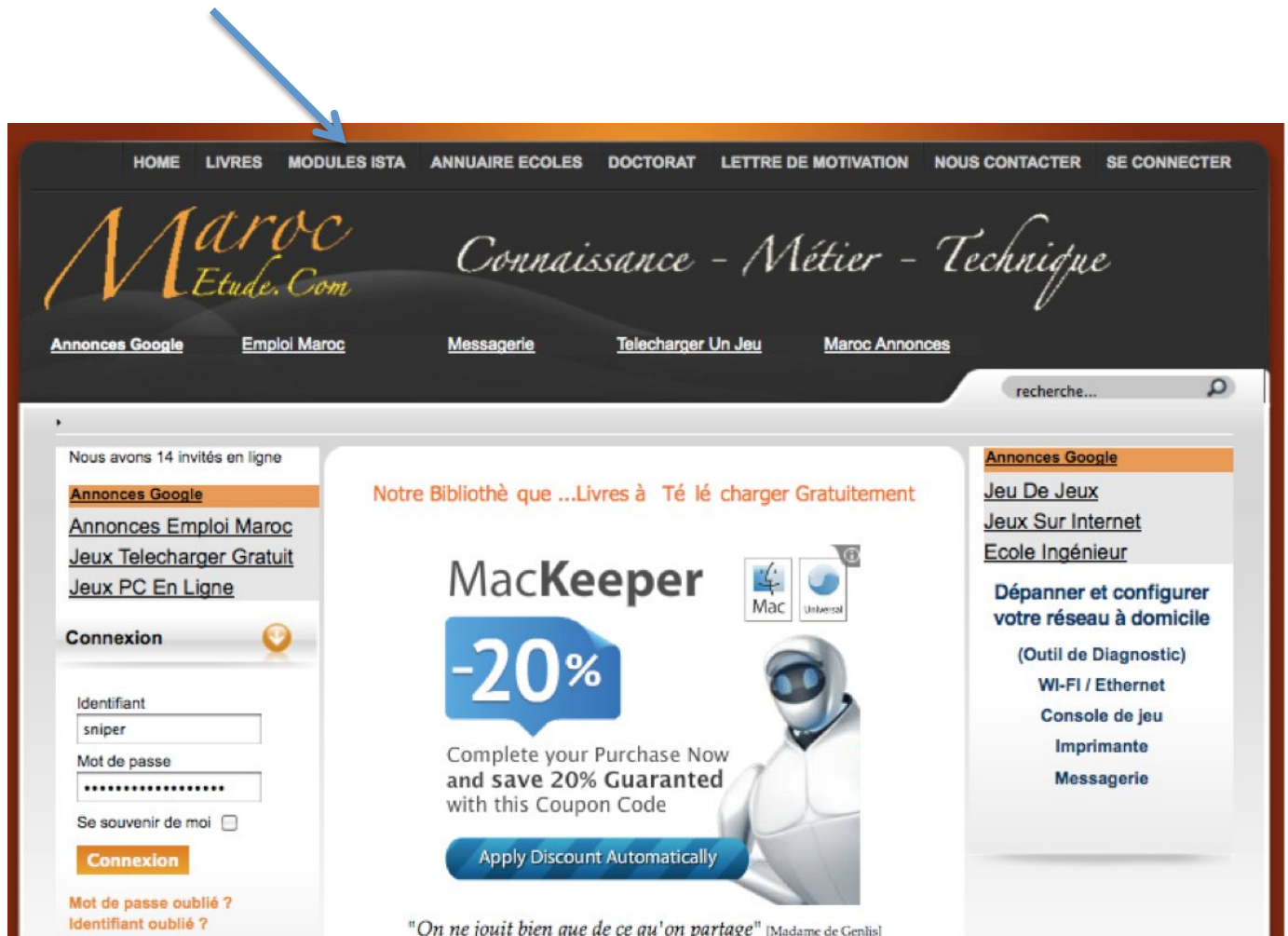
Décembre 2004

PORTAIL DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE AU MAROC

Télécharger tous les modules de toutes les filières de l'OFPPT sur le site dédié à la formation professionnelle au Maroc : www.marocetude.com

Pour cela visiter notre site www.marocetude.com et choisissez la rubrique :

[MODULES ISTA](#)



The screenshot shows the homepage of the website *Maroc Etude.Com*. The navigation bar at the top includes links for HOME, LIVRES, **MODULES ISTA** (highlighted by a blue arrow), ANNUAIRE ECOLES, DOCTORAT, LETTRE DE MOTIVATION, NOUS CONTACTER, and SE CONNECTER. The main header features the site's logo and the tagline "Connaissance - Métier - Technique". Below this, there are links for Annonces Google, Emploi Maroc, Messagerie, Telecharger Un Jeu, and Maroc Annonces. The main content area is divided into three columns. The left column contains a login section with fields for "Identifiant" (containing "sniper") and "Mot de passe", a "Connexion" button, and links for "Mot de passe oublié ?" and "Identifiant oublié ?". The middle column features a promotional banner for "MacKeeper" with a "-20%" discount, a coupon code, and a "Apply Discount Automatically" button. The right column lists various services under the heading "Annonces Google", including "Jeu De Jeux", "Jeux Sur Internet", "Ecole Ingénieur", and a section for "Dépanner et configurer votre réseau à domicile" with sub-links for "Outil de Diagnostic", "Wi-Fi / Ethernet", "Console de jeu", "Imprimante", and "Messagerie".

REMERCIEMENTS

La DRIF remercie les personnes qui ont participé ou permis l'élaboration de ce module de formation.

Pour la supervision :

M. Rachid GHRAIRI : Directeur du CDC Génie électrique Froid et Génie Thermique
M. Mohamed BOUJNANE : Chef de pôle Froid et Génie Thermique

Pour l'élaboration

Mme Natova Bisserka : Formatrice Animatrice au CDC GE/FGT

Pour la validation :

Les utilisateurs de ce document sont invités à communiquer à la DRIF toutes les remarques et suggestions afin de les prendre en considération pour l'enrichissement et l'amélioration de ce programme.

MR. SAID SLAOUI
DRIF

SOMMAIRE

	Page
Présentation du module	6
Résumé de théorie	7
I. Connaissance des eaux naturelles	8
I.1. Cycle de l'eau	10
I.2. Propriétés physico-chimiques	11
I.3. Qualités des eaux	14
I.4. Potentiel d'hydrogène (PH)	18
I.5. Titres alcali métriques : TA- TAC	20
II. Phénomènes d'entartrage et de corrosion	27
II.1. Mécanisme de l'entartrage	28
II.2. mécanisme des corrosions	30
III. Principaux traitements des eaux de chaudières	36
III.1. Adoucissement à permutation sodique	37
III.2. Décarbonatation	41
III.3. Chaînes de déminéralisation	46
III.4. Dégazage thermique	49
III.5. Osmose inverse	51
IV. Conditionnement des eaux et ses principaux produits	53
IV.1. Classification des produits de conditionnement	54
IV.2. Mise en œuvre des produits de conditionnement	59
IV.3. Préparation de la solution réactive	61
Guide de travaux pratiques	62
I. TP1. Titres en chaudière	63
II. TP2. Purges de déconcentration	68
III TP3. Titre hydrométrique	71
IV TP4. Titre alcali métrique	72
V TP5. Titre Chlorures	73
Evaluation de fin de module	74
Liste bibliographique	75

MODULE :19**Traitement des eaux****Durée :62 H****70 % : théorique****20 % : pratique****OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT****COMPORTEMENT ATTENDU**

Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit maîtriser les techniques de traitement des eaux, selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent

CONDITIONS D'EVALUATION

- *A partir des consignes données par le formateur*
- *A l'aide de la documentation technique donnée par le formateur.*
- *A partir de mises en situation*

CRITERES GENERAUX DE PERFORMANCE

- *Description juste des différents modes de traitement*
- *Justesse de l'analyse des titres de l'eau*

OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU DE COMPORTEMENT

COMPORTEMENT ATTENDU :

Pour démontrer sa compétence le stagiaire doit, **maîtriser les techniques de traitement des eaux**, selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent :

CONDITIONS D'EVALUATION :

- A partir des consignes données par le formateur.
- A l'aide de la documentation technique donnée par le formateur.
- A partir de mises en situation.

CRITERES GENERAUX DE PERFORMANCE :

- Description juste des différents modes de traitement.
- Justesse de l'analyse des titres de l'eau.
- Mise en marche et programmation correcte d'un adoucisseur à permutaion sodique.

PRECISIONS SUR LE COMPORTEMENT ATTENDU

CRITERES PARTICULIERS DE PERFORMANCE

A-Définir les eaux naturelles.

- Définition correcte du cycle naturel de l'eau.
- Définition correcte des propriétés physico-chimique de l'eau.
- Connaissance exacte des titres de l'eau.

B-Décrire les phénomènes
d'entartrage et de corrosion.

- Description exacte des principaux éléments de tartre.
- Description correcte de la protection contre la formation des tartres.
- Connaissance exacte du mécanisme de la corrosion électrochimique.

C-Maîtriser les principaux modes
d'épuration des eaux.

- Description exacte de l'adoucissement.
- Description exacte de la décarbonatation.
- Description exacte de la déminéralisation.
- Description exacte du dégazage thermique.

D-Etudier le conditionnement
des eaux et ses principaux
produits.

- Connaissance exacte de la protection contre l'entartrage.
- Connaissance exacte de la protection contre la corrosion.

CHAMPS D'APPLICATION DE LA COMPETENCE :

Installation de production de vapeur, de chauffage, de refroidissement, de piscine.

OBJECTIFS OPERATIONNELS DE SECOND NIVEAU

Le stagiaire doit maîtriser les savoirs, savoir-faire, savoir- percevoir ou savoir être juges préalables aux apprentissages directement requis pour l'atteinte de l'objectif de premier niveau tels que :

Avant d'apprendre à décrire les eaux naturelles (A) :

1. Décrire le cycle naturel de l'eau.
2. Décrire la composition de l'eau.

Avant d'apprendre à décrire les phénomènes d'entartrage et de corrosion (B) :

3. Enumérer les différents sels minéraux pouvant former du tarte.
4. Décrire les procédés d'épuration.
5. Décrire les procédés de conditionnement.

Avant d'apprendre à maîtriser les principaux modes d'épuration des eaux (C) :

6. Connaître le rôle des résines échangeuses d'ions.
7. Décrire le mécanisme de l'échange d'ions.

Avant d'apprendre à étudier le conditionnement des eaux et ses principaux produits (D) :

8. Connaître la classification des produits de conditionnement, leurs propriétés et les dosages usuels.
9. Décrire la mise en œuvre des produits de conditionnement.

PRESENTATION DU MODULE

Le module de traitement des eaux comprend 4 parties :

- *la 1^{ère} partie concernant la connaissance des eaux naturelles. En effet il s'agit de connaître le cycle naturel de l'eau, les propriétés physico-chimique de l'eau, ainsi que les principaux titres de l'eau.*
- *La 2^{ème} partie donne un aperçu sur les phénomènes d'entartrage et de corrosion et comment assurer la protection contre la formation des tartres et la corrosion électrochimique*
- *La 3^{ème} partie décrit les principaux modes de traitement des eaux, en donnant aussi un aperçu sur l'osmose inverse.*
- *Finalement la 4^{ème} partie fait connaître le conditionnement des eaux, ainsi que ses principaux produits*

Ce module est d'une durée de 62 heures, 70% de cette masse horaire est allouée à la théorie et 20% pour la pratique.

Module19 : Traitements des eaux

RESUME THEORIQUE

I-Connaissance des eaux naturelles

INTRODUCTION

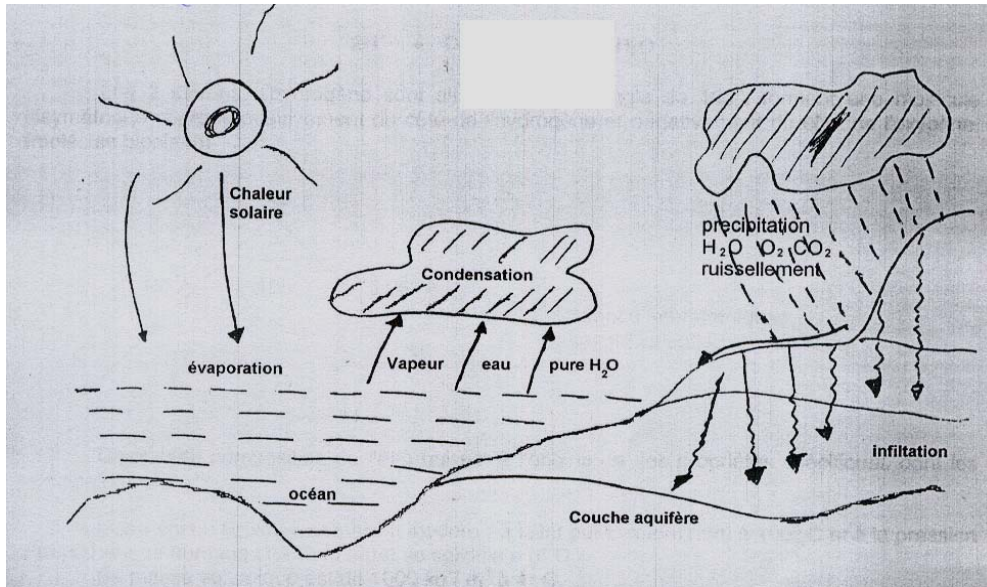
L'eau est un fluide indispensable à la vie, très largement répandue à la surface de la terre et jouant un rôle essentiel dans la structure organique des êtres vivants et des végétaux.

Elle a aussi une importance industrielle considérable liée à son abondance relative, son prix de revient peu « onéreux » et surtout à ses propriétés physico-chimiques particulièrement intéressantes.

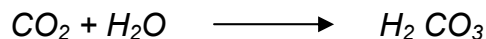
Journellement nous sommes confrontés à ces propriétés dont d'une part nous profitons des avantages, mais qui d'autre part peuvent être à l'origine de nombreux désagréments lorsqu'elles sont mal connues ou mal maîtrisées.

1° CYCLE DE L'EAU :

Il s'agit du voyage qui mène l'eau de la mer à la mer en passant par le robinet du consommateur.



Sous l'action de la chaleur solaire, l'eau pure s'évapore et s'élève dans l'atmosphère à l'état gazeux pour se condenser sous forme de nuages au contact de masses d'air plus froides. Elle se charge alors de poussières atmosphériques et absorbe jusqu'à saturation les gaz atmosphériques tels que l'oxygène et surtout l'anhydride carbonique CO₂ qui se transforme au contact de l'eau en acide carbonique.



De sorte que les précipitations qui touchent le sol (pluie, grêle, neige) présentent un PH acide de l'ordre de 6.

L'eau a alors 2 possibilités pour retourner à la mer :

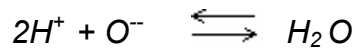
- Par infiltration dans le sol en formant des nappes souterraines. L'acidité de l'eau conduit alors à une dissolution des minéraux constituant les sols calcaires rencontrés.
- Par ruissellement en surface du sol, en torrents ou rivières. dans ce cas l'eau balaie la surface de la terre et entraîne les matières solides

Au cours de ce recyclage, l'eau conserve donc les « traces » de son cheminement, de sorte que le liquide « eau » utilisé pour notre consommation domestique et industrielle est fort éloigné de la simple formulation H₂O et possède une identité spécifique.

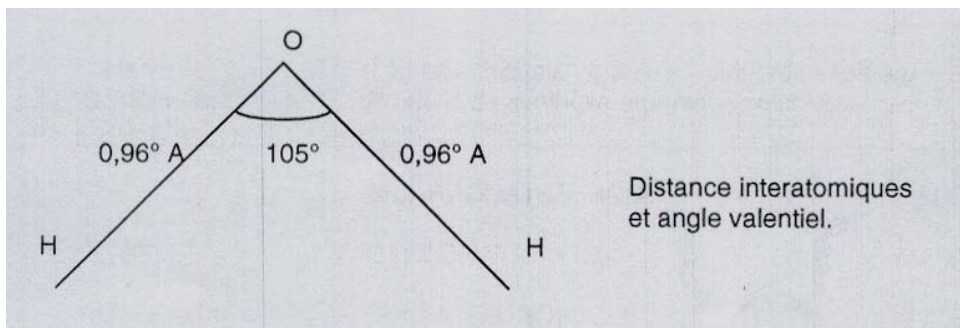
Cette identité est à l'origine des difficultés éventuellement rencontrées avec l'eau et nous sera révélée par l'analyse bactériologique et physico-chimique du liquide distribué.

2° PROPRIETES PHYSICO- CHIMIQUES :

L'eau est un composé chimique qui résulte de la combinaison de 2 atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène pour former le réactif bien connu « H_2O »



Les 2 atomes d'hydrogène sont situés sous un angle de 105° , formant une molécule dissymétrique chargée positivement du côté de l'hydrogène et négativement du côté de l'oxygène. (molécule bipolaire)



C'est cette composition de l'eau qui est à l'origine de ses propriétés spécifiques dont les principales sont les suivantes:

- L'eau est un liquide transparent inodore ;
- Sa masse volumique est de $1000 \text{ kg} / \text{m}^3$ à 4°C .
- C'est le meilleur des solvants.
- Elle dissout les gaz et les sels minéraux et contient à l'état liquide des organismes vivants. (voir Tableau N°1)
- Il faut fournir 537 K cal pour vaporiser 1 kg d'eau à 100°C
- Au-dessus de 374°C , l'eau n'existe plus qu'à l'état de vapeur.
- L'eau sous forme de vapeur est stable jusqu'à 2000°C , à cette température elle commence à se dissocier en O_2 et H_2 .

ELEMENTS RENCONTRES DANS L'EAU

TABEAU : 1

ETAT DES ELEMENTS	NATURE DES ELEMENTS
<i>En suspension</i>	<i>Sables, argiles Boues diverses-Débris divers insolubles.</i>
<i>En émulsion</i>	<i>Matières organiques colloïdales- huiles minérales goudrons- suies pétrole- argiles colloïdales.</i>
<i>Matières solubilisées</i>	<i>Tourbe – déchets végétaux – matières azotées. Produits de synthèse organiques solubles.</i>
SELS MINERAUX	BICARBONATES. HCO_3^- CARBONATES. CO_3^{--} SULFATES. SO_4^{--} CHLORURES. Cl^- NITRATES. NO_3^- } de CALCIUM ; Ca^{++} MAGNESIEUM. Mg^{++} SODIUM. Na^+ POTASSIUM. K^+ AMMONIUM. NH_4^+
GAZ	OXYGENE. AZOTE. GAZ CARBONIQUE. AMMONIAC
<i>Organismes vivants</i>	<i>Plancton. Algues. Champignons. Vers. Larves. Bactéries. Amibes. virus</i>

2.1. Eléments présents dans l'eau :

(voir tableau N°1)

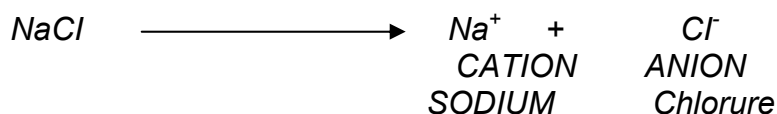
2.1.1. Sels minéraux dissous :

Les sels en solution dans l'eau se dissocient en deux groupes de particules appelées « ions » (tableau N°2)

ORIGINE : METAUX ↓ CATIONS	ORIGINE : ACIDES ↓ ANIONS
Charges Positives Ca^{++} - Mg^{++}	Charges Négatives HCO_3^- - OH^- CO_3^{--} - Cl^- - SO_4^-

Exemple :

Le sel marin ou chlorure de sodium s'ionise lorsqu'il est en solution comme suit :

**2.1.2. Gaz dissous :**

OXYGENE : sa présence dans l'eau conduira à des corrosions

Gaz carbonique :

La présence dans l'eau de gaz carbonique dissous a une très grande importance, en effet, on peut considérer :

- Le gaz carbonique libre
- Le gaz carbonique équilibrant (nécessaire au maintien en solution des bicarbonates (HCO_3^-))

Trois cas peuvent se présenter :

1. présence de CO_2 libre $\longrightarrow$ eau agressive
2. CO_2 équivalent au CO_2 équilibrant $\longrightarrow$ l'eau est en équilibre ni agressive, ni incrustante
3. défaut de CO_2 par rapport au CO_2 équilibrant $\longrightarrow$ eau incrustante

2.1.3. Matières organiques :

Proviennent des rejets industriels et urbains et de la dissolution par les pluies de débris végétaux décomposés, très souvent à l'origine des mauvaises odeurs et de la coloration de l'eau.

Ces matières, au même titre que les éléments en suspension, argiles, boues, etc., sont éliminées dans les usines de traitement des eaux.

3° QUALITES DES EAUX :**3.1. Phénomènes Provoqués par l'association**

Eau + Métal + Température

a- Corrosions :

Dues principalement aux gaz en dissolution dans l'eau – oxygène et CO_2 (phénomènes complexes électrochimiques)

b- Entartrage :

Dû à la précipitation des sels minéraux : Calcium, Magnésium et Silice.

c- Primage :

Dû en outre à la trop forte concentration en sels minéraux dissous (concerne les chaudières à production de vapeur)

3.2. Titre Hydrométrique (TH) :

Appelé également Dureté Totale.

C'est une mesure particulièrement importante puisqu'elle va nous permettre de connaître avec précision la concentration en sels de calcium (Ca^{++}) et en sels de Magnésium (Mg^{++}) d'une eau ou d'une solution.

Il faut savoir que les seuls sels entartrages sont le calcium et la Magnésium, mis à part la silice.

DEFINITION :

c'est la mesure de la totalité des sels de calcium (Ca^{++}) et de Magnésium (Mg^{++}) dissous. Ces deux éléments ayant des propriétés semblables en général, on ne cherche pas à les mesurer séparément.

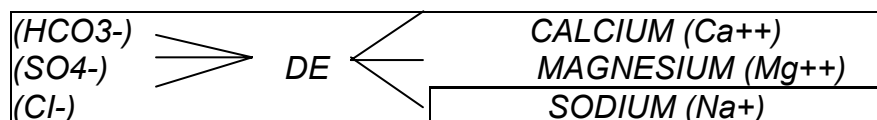
Il existe une mesure du TH calcique, qui par différence avec le TH (Total) permet de mesurer la concentration en sels magnésiens.

Dans les eaux brutes, on trouve :

Bicarbonates

Sulfates

CHLORURES



La mesure du TH prend donc en compte tout le calcium et le Magnésium liées aux bicarbonates, sulfates et chlorures.

En général, les éléments dominant sont les Bicarbonates qui représentent à eux seuls la presque totalité de la mesure.

3.2.1. Unités de mesures :

En Hydrotimétrie, l'unité de mesure est le degré français (°f)

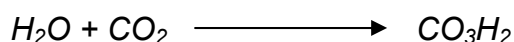
Valeur : un degré français est égal à 10 mg/l de carbonate de calcium. (CaCO₃)

1°f de TH $\longrightarrow$ 1 litre $\longrightarrow$ 10 mg.

1°f de TH $\longrightarrow$ 1 m³ $\longrightarrow$ 10g

3.2.2. Mécanisme de l'entartrage :

Les bicarbonates de calcium et de magnésium étant à l'origine de l'entartrage, il convient de bien comprendre le processus de ce phénomène : L'eau de pluie dans sa chute, va dissoudre les gaz : Oxygène et gaz carbonique qui vont modifier ses propriétés ; en effet, la dissolution du CO₂ va provoquer la formation d'acide carbonique.



L'eau de pluie va devenir acide, sur le sol en traversant les couches de végétaux en décomposition, cette eau s'acidifie un peu plus et va traverser des couches de terrain de différentes natures, la roche calcaire va être dissoute lentement et provoque la formation de Bicarbonates. (fig.2)

L'élévation de la température et cela à partir de 55° C va provoquer la dissociation des Bicarbonates de calcium et de Magnésium, amener la précipitation de carbonates de calcium et de magnésium qui sont insolubles et ainsi former le tartre selon la réaction de la fig.2, le gaz carbonique retrouve son état initial.

Il y a donc entartrage lorsqu'il y a rupture de l'équilibre carbonique.

Une eau d'alimentation de chaudière industrielle doit toujours avoir un TH = 0°F.

3.2.3. Mesure du TH :

deux procédés :

1. Par complexometrie (EDTA) :

C'est une mesure quantitative, la lecture pouvant se faire au 1/5 de ° f.

Cette méthode est normalisée (NF T 90-003) : l'échantillon d'eau est de 100 ml. La burette doit être graduée en 0°f (attention aux liqueurs employées avec les burettes, la normalité des liqueurs doit correspondre avec les graduations des burettes).

Il faut ajouter à l'échantillon les produits suivants dans l'ordre :

1- Tampon K 10 :

solution d'ammoniaque et de chlorure d'ammonium donnant à l'échantillon à analyser un PH alcalin de 10, stable malgré les dilutions.

2- Indicateur net :

Noir d'ERLOCHROME, c'est le réactif de fin de réaction (à tenir à l'abri de la lumière)

3- Liqueur complexométrique (EDTA) :

En Fonction de la teinte obtenue avec les deux premiers réactifs

-bleue : TH= 0°f

-rouge : TH > à 0°f, l'eau contient des sels de Calcium et de Magnésium, il faut titrer la solution avec l'EDTA jusqu'à virage au bleu le résultat se lit directement sur la burette.

2) Méthode au savon : (Mesure qualitative)

La méthode reste valable pour des TH nuls ou très faibles.

Par contre plus la dureté est grande, plus l'erreur est élevée.

3.3. TH Permanent :

Nous avons vu que les sels de calcium et magnésium liés aux bicarbonates précipitaient en carbonates insoluble à partir de 55° C, la quantité de sels de calcium et magnésium restant est donc bien celle liée aux sulfates et aux chlorures, c'est cette teneur qui est appelée Dureté ou TH permanent.

Définition : c'est le TH qui subsiste après ébullition prolongée d'un échantillon d'eau de 100 ml

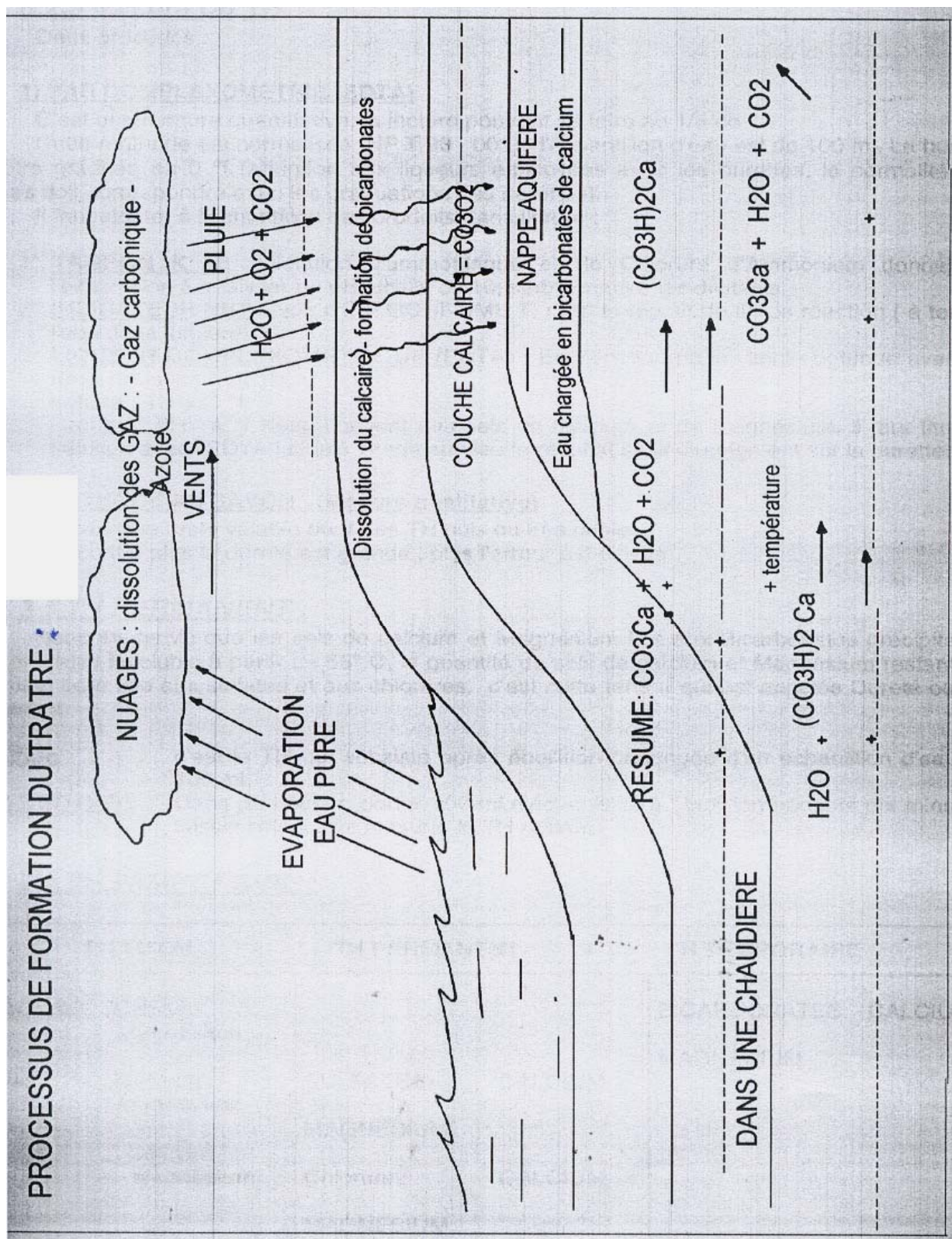
Mode Opératoire : Dans un bêcher, porter 100 ml d'échantillon à ébullition pendant dix minutes, laisser refroidir et mesurer le TH restant.

3.4. TH Temporaire :

Tableau n°3 :

TH TOTAL		=	TH PERMANENT		+	TH TEMPORAIRE	
Bicarbonates	Calcium Magnésium					BICARBONATES CALCIUM MAGNESIUM	
Sulfates	Calcium Magnésium		SULFATES		CALCIUM		
			MAGNESIUM				
Chlorures	Calcium Magnésium		Chlorures		CALCIUM		
			MAGNESIUM				

Figure 2



Ces deux dernières mesures qui paraissent un peu démodées conservent leur importance dans certains traitements des eaux comme la décarbonatation que nous verrons plus loin.

3.5. Elimination du tartre :

Les dépôts de tartre à l'intérieur des chaudières sont à l'origine de beaucoup d'incidents plus ou moins graves : baisse de rendement (le tartre agissant comme isolant), coups de feu (éclatement de tube) etc....

Pour détartrer, il faut employer de l'acide chlorhydrique passivé. En effet, l'acide chlorhydrique attaque les dépôts de carbonates de calcium et de Magnésium mais il attaque également le métal, il est donc passivé à l'aide de macro-molécules organiques qui protègent le métal jusqu'à 50° C environ.

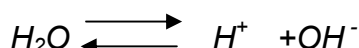
Pour éviter les corrosions après traitement, il faut pratiquer trois rinçages dont le dernier doit être fait avec 1 kg de phosphate trisodique / m³.

A la remise en service, il y a risque de retrouver de l'acide chlorhydrique actif il faudra donc surveiller le PH de l'eau toutes les heures.

4° POTENTIEL HYDROGENE (PH):

Toutes les solutions contiennent des particules ionisés :

- Les unes chargées positivement
Exemple : H⁺ : ion hydrogène (fonction acide)
- Les autres chargées négativement
Exemple : OH⁻ : ion hydroxyde ou ion alcalin (fonction basique) les ions résultent de la dissociation ionique de l'eau



La dissociation augmente avec l'élévation de la température, donc le PH diminue, en effet, à 22° C l'eau distillée contient un ion gramme d'hydrogène pour 10⁷ litres.

La concentration en ions H⁺ est donc 1/10⁷ = 10⁻⁷

A 200° C la concentration s'élève à 10^{-5.7}

En langage courant, on dit que l'eau a un PH de 7 ou de 5,7.

L'élévation de la température provoque donc une diminution de PH (Tableau 4)

Température en °C	PH neutre
0°	7.5
22°	7.0
50°	6.6
100°	6.1
160°	5.8
200°	5.7
250°	5.5

(Tableau N°4)

4.1. Définition :

Le PH est la mesure de la concentration en ions H^+ d'une solution ionisée

Les mesures donnent :

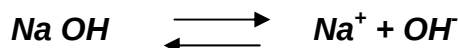
$$[H^+][OH^-] = 10^{-14} \text{ à } 22^\circ\text{C}$$

Comme

$$[H^+] = [OH^-] \text{ on a } [H^+] = 10^{-7}$$

Le PH d'une eau neutre sera $PH = 7$, elle contiendra autant d'ions $[H^+]$ que d'ions $[OH^-]$.

Si dans un litre d'eau déminéralisée on ajoute une molécule de soude caustique soit 40g ($NaOH$). Cette molécule est dissociée suivant :



La nouvelle concentration en ion $[OH^-]$ de la solution a reçu un ion gramme $[OH^-]$ et devient :

$$[OH^-] = 10^{-7} + 1 \approx 1$$

Comme

$$[H^+][OH^-] = 10^{-14}$$

$$\text{on a } [H^+] = 10^{-14} \text{ et par suite } pH = 14$$

Pour les eaux de chaudières, les PH varient entre 9 et 12 (maximum). En général ; les PH à respecter sont ceux préconisés par les constructeurs en fonction des aciers employés dans la construction.

Il existe des produits comme le phosphate trisodique qui permettent de faire varier le PH et de le maintenir à une valeur donnée.

4.2. Mesure :

a- Au papier PH :

Rubans de papier imprégnés qui changent de teinte en fonction du pH de l'échantillon à analyser, les teintes de référence se trouvant sur le couvercle de la boîte.

Précision : ± 0.5

b- Par colorimétrie :

Comparaison de la teinte de l'échantillon avec une réglette comportant les teintes de référence. L'échantillon étant préalablement teinté avec un colorant organique.

La précision est très variable en fonction de la coloration des eaux de chaudières :

- $\approx 0,2$ point de pH pour une eau claire
- $\approx 0,5$ point de pH pour une eau trouble ou colorée.

Il est à noter que l'éclairage et l'interprétation de chaque individu peuvent être sources d'erreurs. Si l'on doit filtrer l'eau par suite de sa coloration. L'erreur de mesure peut atteindre un point de PH.

c- Au PH. Mètre :

Ce sont des millivoltmètres, les plus simples étant munies d'un galvanomètre de grande dimension qui donnent des menues précises

Avant usage, il faut étalonner le pH mètre à l'aide de solutions tampons de PH connus.

Ces solutions sont à changer régulièrement pour éviter toutes erreurs de mesure.

4.3. Rectification du PH :

Si la température augmente l'activité ionique augmente, donc le pH diminue, il est impératif de le maintenir à des valeurs supérieures à PH=7.

Pour se faire on utilise des produits chimiques alcalins qui sont :

- Na OH soude caustique
- $\text{CO}_3 \text{Na}_2$ carbonate de sodium qui précipite la dureté
- $\text{Na}_3 \text{PO}_4$ phosphate trisodique Poly phosphates
- $\text{NH}_4 \text{OH}$ ammoniaque
- KOH potasse caustique

a- Pour remonter un pH :

Pour les chaudières B.P : - $\text{Na}_3 \text{PO}_4$

- $\text{CO}_3 \text{Na}_2$

- Poly phosphates

Pour les chaudières H.P : - $\text{NH}_4 \text{OH}$ Ammoniaque

b- Pour abaisser un PH :

- Ouvrir les purges
- Diminuer le dosage des produits de traitement dans les bâches alimentaires.

On peut également corriger avec des phosphates acides.

$\text{Na}_2 \text{HPO}_4^-$ Phosphate disodique

$\text{NaH}_2 \text{PO}_4^-$ Phosphate monosodique

Mais le pH doit être surveillé fréquemment

5° TITRES ALCALIMETRIQUES : TA - TAC :

Comme leurs noms l'indiquent les titres Alkali métriques permettent de mesurer l'importance des alcalins contenus dans les eaux épurées ou les eaux de chaudières, à savoir :

NaHCO_3 : Bicarbonate de sodium.

$\text{Na}_2 \text{CO}_3$: Carbonate de sodium.

$\text{Na}_3 \text{PO}_4$: Phosphates trisodique.

Ainsi que les bases fortes :

Na OH : Soude caustique.

Ca(OH)_2 : Hydroxyde de calcium.

Ces titres s'expriment en degrés alcali métriques correspondent donc à une concentration par litre 1/5000 d'une molécule gramme de soude caustique ($\text{NaOH} = 40\text{g}$).

Soit $40.000 / 5000 = 8 \text{ mg/l}$ de Na OH.

5.1. Mesure :

Avant de procéder à la mesure des titres TA et TAC. Il faut savoir que pour mesurer une quantité de sels alcalins en dissolution dans l'eau, il faut procéder à une neutralisation de ces (alcalins) par l'acide et c'est la quantité d'acide utilisée pour cette neutralisation qui sera mesurée pour donner le résultat.

IMPORTANT :

Il convient de faire très attention aux matériels utilisés lors des analyses sous peine de commettre des erreurs pouvant avoir des répercussions graves sur la qualité des eaux alimentaires de chaudières.

Lorsque l'on procède à une neutralisation comme précédemment, il faut un moyen de contrôle afin de connaître le moment exact de cette neutralisation.

Il existe des réactifs chimiques ayant la propriété de changer de couleur à des PH précis qui nous indiquent la fin de la neutralisation à savoir :

1. La phenolphtaleine :

Elle colore en rouge les eaux contenant des produits alcalins et vire à l'incolore à pH= 8,3, on l'utilise pour mesurer le TA

2. L'Hélianthine ou méthylorange :

Il colore en jaune les eaux contenant des produits alcalins et vire au rose à pH = 4,5 on l'utilise pour mesurer le TAC

Finalement :

$$TA = \text{soude (OH)} + \frac{1}{2} \text{ carbonates (CO}_3\text{)} + \frac{1}{3} \text{ phosphates (PO}_4\text{)}$$

Pour une eau de chaudière on peut écrire :

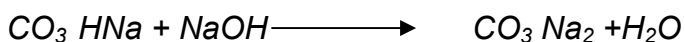
$$TA = \text{BASE} + \text{CO}_3 \text{ Na}_2 / 2 + \text{PO}_4 \text{ Na}_3 / 3$$

$$TAC = \text{soude} + \text{total carbonates} + \text{total Bicarbonates} + 2/3 \text{ Phosphates}$$

Pour une eau de chaudière on peut écrire

$$TAC = \text{BASE} + \text{CO}_3 \text{ Na}_2 + 2/3 \text{ PO}_4 \text{ Na}_3$$

On remarque l'absence des bicarbonates ($\text{CO}_3 \text{ H Na}$) dans les eaux de chaudières, c'est qu'en effet ils ne peuvent être présents dans l'eau en même temps que les bases, celles-ci réagiraient sur eux comme suit :



a) Si TA = 0, l'eau ne contient ni soude, ni carbonates, mais elle peut renfermer des Bicarbonates, c'est le cas des eaux brutes.

Si le TAC > 0, on se trouve donc en présence de bicarbonates de calcium et de Magnésium, le TAC représente la dureté temporaire en supposant l'absence dans l'eau de bicarbonates de sodium

Si l'on connaît la dureté Totale = TH

$$TH - TAC = \text{Dureté permanente.}$$

b) Si TA = TAC/2 ; l'eau ne contient que les carbonates alcalins.

c) Si TA < TAC/2 ; l'eau renferme un mélange de bicarbonates et de carbonates.

- d) Si $TA > TAC/2$; l'eau ne contient plus de bicarbonates, mais un mélange de bases fortes (soude caustique) et de carbonates.
e) Si $TA = TAC$, l'eau ne renferme plus que des bases fortes.

5.2. TA-TAC des eaux de chaudières :

1^{er} Cas :

$TA = TAC/2$, c'est le rapport idéal vers lequel il faut tendre, l'eau ne contient que des carbonates neutres de Sodium. Ce rapport est valable pour des chaudières ayant un timbre inférieur à 30 bars. Pour des timbres supérieurs à 35 bars et dans le cas de l'utilisation de la vapeur dans une turbine, le respect de ce rapport devient une obligation.

2^{ème} cas :

$TA > TAC /2$.

Exemple : Résultats d'analyse : $TA = 71^{\circ}f$
 $TAC = 99^{\circ}f$

D'après le tableau n°5, pour des Bases fortes : $2 TA - TAC = 43^{\circ} F$

Donc $43 \times 8 = 344 \text{ mg/l}$ de NaOH

Cet excès de soude peut trouver son origine par un trop fort excès de Phosphates ou à un débit trop faible des purges continues.

Dans l'exemple ci-dessus, il y a risque de fragilité caustique.

Il y a également augmentation de la viscosité de l'eau.

Augmentation de la salinité totale et donc risque de primage.

a- Définition : Le primage est l'entraînement de gouttelettes d'eau avec la vapeur

b- Conséquences du primage.

1° Diminution du rendement des chaudières.

2° Ruptures d'aubages de turbine qui peuvent devenir catastrophiques, donc primage interdit s'il y'a turbine

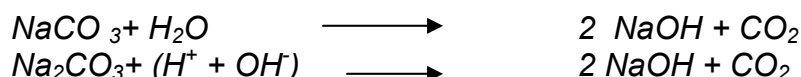
c- Causes : (outre que celles mentionnées plus haut)

- Soutirage de vapeur trop important
- Traces d'hydrocarbures dans l'eau

d- Remèdes :

- Augmenter le débit des purges continues.
- S'il n'y a pas de purges continues, faire des extractions

- Utilisation des produits chimiques contenant des polyalcools et des polyamides qui diminuent la viscosité en surface, calment également les plans d'eau et empêchent les mousses (exemple : ERPAMOUSSE de la société ERPAC).
- L'excès de soude provient d'un excès de phosphate trisodique $\text{PO}_4 \text{Na}_3$
- L'élévation de la température provoque la décomposition des carbonates de sodium qui s'hydrolysent suivant les réactions chimiques :



On peut également utiliser les phosphates acides :

- Phosphates Disodique : $\text{PO}_4 \text{HNa}_2$
- Phosphates Mono sodique : $\text{PO}_4 \text{H}_2 \text{Na}$

Qui permettent d'écarter TA- TAC

6° EQUIVALENCE – NORMALITE – DEGRES :

Afin de pouvoir comptabiliser les quantités de réactifs qui entrent en jeu dans les réactions il a fallu créer une unité c'est l'équivalent.

- L'équivalent (eq) est la masse d'un corps qui met en jeu un électron.
- La valence détermine le nombre d'électrons qu'un corps est capable de mettre en jeu.

L'équivalent est donc égal à :

$$\text{Equivalent} = \text{Masse Moléculaire} / \text{Valence} = \text{M.M/V}$$

L'équivalent étant une unité trop importante, on travaille beaucoup avec le Milli équivalent (meq)

$$1 \text{ meq} = 1 \text{ eq} / 1000 = \text{M.M/V} \times 1000$$

Ex : L'acide sulfurique H_2SO_4

Diacide (H_2) $\longrightarrow$ Valence 2.

Sa masse moléculaire est : $\text{H}_2\text{SO}_4 : 1+1+32+(16 \times 4)$ (98 gr)

En équivalent nous aurons $98/2 = 49$

Afin d'établir une correspondance entre deux solutions, on a créé une unité de concentration appelée :

Normalité.

Une solution est dite normale (N) lorsqu'elle contient un équivalent d'un acide ou d'une base

$$\text{Masse Moléculaire} / \text{valence} = \text{gr} / 1 = \text{N}$$

Les solutions peuvent avoir des normalités de :

$$\text{N} - \text{N}/10 - \text{N}/25 - \text{N}/50 - \text{etc.} \dots$$

Il faut que les burettes utilisées correspondent à ces normalités.

Exemple :

Acide sulfurique : H_2SO_4 MM/V = $98/2 \text{ g} = 49 \text{ g/l}$

Solution Normale.

Pour une solution de N/25 on aura, $49/25 = 1,96 \text{ g/l}$ de H_2SO_4

Acide Chlorhydrique : $\text{HCl} : \text{MM/V} = 36,5/1 \text{ g}$

La solution Normale = $36,5 \text{ g/l}$

Si l'on parle de Masse volumique, on aura :

Un litre = EAU + 0,0365 Kg = 1,0365 kg/l

DEGRES :

Le meq étant une unité trop grande en traitement des eaux, on utilise le degré français (°f) qui est la 1/5 partie du mille- équivalent gramme par litre $1^\circ f = 1/5 \text{ meq/l}$

Exemple

Le carbonate de Calcium (tartre)

$\text{CO}_3 \text{ Ca}$. MM/V = 100/2 g

La solution Normale sera : $100/2 = 50 \text{ eq/l}$

Si l'on convertit en mq / l on aura : 0,05 g/l

Ou 50 mg / l

D'un $1^\circ f = 50 / 5 = 10 \text{ mg/l}$

7° CHLORURES- Cl :

a- Importance :

Les chlorures se trouvent dans les eaux brutes sous forme de :

- Chlorure de calcium Ca Cl_2
- Chlorure de Magnésium Mg Cl_2
- Chlorure de Sodium NaCl .

A des valeurs variant de 0 à 70 mg/l environ.

Pendant les traitements ; adoucissement ou décarbonatation, tous les chlorures de Ca^{++} et Mg^{++} vont devenir des chlorures de sodium (Na^+) (fig 3)

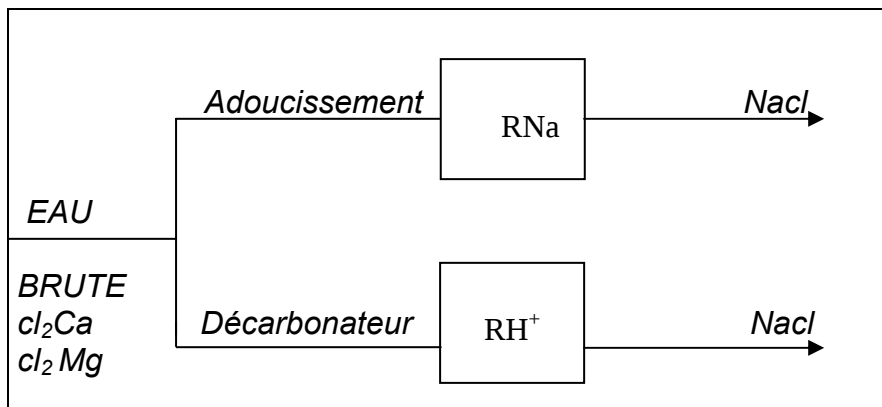


Figure 3

EAUX DE CHAUDIERES

A partir de 25 bars, les chlorures de sodium se transforment en acide chlorhydrique et en soude caustique selon :



D'où risque de corrosion par l'Acide chlorhydrique il faut remarquer que si dans les eaux alimentaires on trouve par exemple, 10mg /l de chlorures, la concentration dans les chaudières peut être dix fois plus importante, soit 100 mg / l

b- Mesure :

Elle s'effectue au nitrate d'argent, il y a réaction avec formation de chlorure d'argent insoluble blanc. On utilise le chromate de potassium pour détecter la fin de réaction : coloration rouge brique.

8° LA SILICE : Si O₂ :

Dans les chaudières et plus particulièrement dans celles alimentant des turbines, la pureté de la vapeur est primordiale afin d'éviter les dépôts de sels et de silice, s'il y a désurchauffe par eau d'appoint, cette eau doit avoir également une grande pureté.

Les tartes à bases de silice sont extrêmement durs, très mauvais conducteurs de la chaleur et en plus très difficile à éliminer, ce sont les plus dangereux.

Un millimètre de dépôt de silice, en fonction de sa conductibilité thermique, peut être comparé à dix millimètres de dépôts de tartre carbonaté.

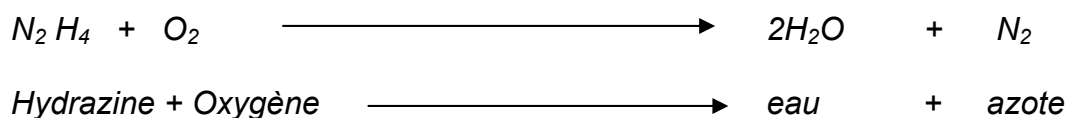
Les teneurs en silice à ne pas dépasser sont de l'ordre de 5 et même 3 mg /l. la solubilité de la silice augmente avec la température et la pression.

La silice peut être entraînée partiellement dans la turbine sous forme d'acide silicique en formant des dépôts dangereux sur les aubages, ou bien si la soude caustique est présente dans l'eau, se combiner avec elle pour former des silicates de sodium qui se déposent sur les parois.

D'autres combinaisons peuvent se produire en présence de soude caustique : attaque du fer et formation de silicate de fer. L'aluminium donne des silicates d'alumine, tous incrustants et donnant également des corrosion graves des tubes.

9° L'HYDRAZINE : N₂H₄ :

L'HYDRAZINE est un puissant réducteur de l'oxygène qui agit en provoquant une réaction telle que :



Dans les installations importantes, le moyen le plus sûr d'éliminer l'oxygène est de dégazer l'eau par voie thermique : entraînement de l'oxygène et autres gaz par un balayage à la vapeur (0.03 mg d'O₂/kg de vapeur après dégazage).

L'Hydrazine est employé fréquemment pour parfaire le dégazage thermique, c'est un produit très toxique et très avide d'oxygène à l'état pur, on l'emploie en solution diluée à 35 % (obligation de porter gants et lunettes lors de manipulations).

A partir de 270° C environ, l'Hydrazine se décompose partiellement pour libérer de l'ammoniac (NH₃) et de l'hydrogène (H₂)

Son utilisation est donc limitée par la présence de métaux cuivreux, la corrosion du cuivre par l'ammoniac survient à PH = 9 à la température ambiante et la présence d'oxygène accroît la corrosion.

10° SELS D'ACIDES FORTS-SAF :

Ce titre correspond à la somme des sels suivants :

- sulfates SO₄⁻
- chlorures Cl
- nitrates NO

en dissolution dans l'eau

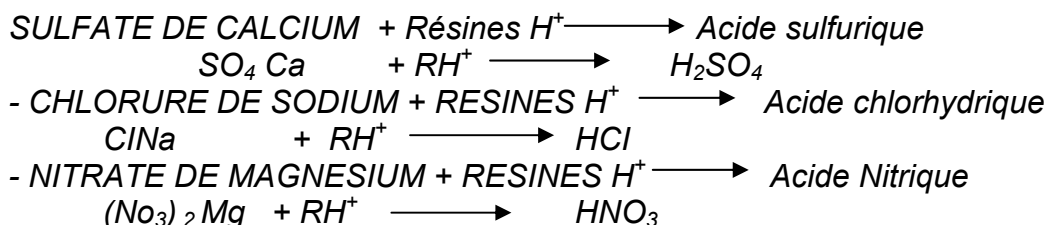
Il est important de connaître la concentration de ces différents sels pour déterminer les traitements appropriés à apporter à l'eau avant son emploi en chaudière (exemple : chaînes de déminéralisation)

10.1. Mesure :

Pour mesurer ces sels, il faut faire passer l'échantillon d'eau sur un lit de résines échangeuses de cations (RH⁺) .

Ces résines vont échanger leur ions sulfates, chlorures, nitrates en acides correspondants

EX :



Il suffit ensuite de titrer la totalité des acides en utilisant une base forte (soude caustique) en présence d'un indicateur coloré (l'Hélianthine) jusqu'à virage du rose orangé au jaune franc. Le SAF s'exprime en degré français.

En fait, cette mesure est un TAC à l'envers.

II Phénomènes d'entartrage et de corrosion

1° MECANISME DE L'ENTARTRAGE :

PROTECTION CONTRE L'ENTARTRAGE

La nature tend toujours vers un équilibre parfait, et c'est pourquoi les eaux naturelles sont généralement en équilibre aux conditions naturelles de température et de pression, c'est-à-dire à 10 – 15°C sous 760 mm de mercure.

Si on modifie ces conditions naturelles, soit en élevant la température, soit en faisant varier la pression, soit en augmentant la concentration des matières dissoutes, on modifie l'équilibre et certains éléments contenus dans l' eau peuvent atteindre leur limite de solubilité.

Ils précipitent alors sous forme de particules solides qui peuvent se rassembler pour former des dépôts.

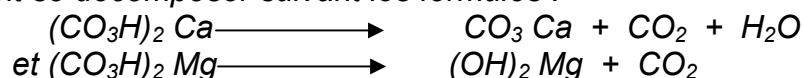
Sous l'effet de certains facteurs, l'élévation de température en particulier, ces dépôts peuvent durcir et former des INCRUSTATIONS ou TARTRES.

a- principaux éléments générateurs de tartres :

Les éléments générateurs de tartres sont généralement des sels minéraux peu solubles ou instables. Parmi ceux-ci, nous citerons :

1. Les bicarbonates alcalino-terreux :

Les bicarbonates de calcium et magnésium, formules $(\text{CO}_3\text{H})_2 \text{Mg}$ sont instables et peuvent facilement se décomposer suivant les formules :



Avec formation de carbonate de calcium et d'hydroxyde de magnésium très peu solubles et libération de gaz carbonique (CO_2).

Ces produits peu solubles apparaissent sous forme solide et précipitent.

Cette décomposition est d'autant plus rapide et complète que la température est élevée.

On élimine les tartres carbonatés par voie mécanique (fraisage, brossage) ou par voie chimique (les tartres carbonatés sont totalement solubles dans l'acide chlorhydrique).

On pourra prévoir la tendance d'une eau à former des tartres carbonatés en connaissant, entre autres , son TH (somme des sels de chaux et de magnésie) et son TAC (bicarbonates).

2. Le sulfate de calcium :

Contrairement à la majorité des sels minéraux, la solubilité du sulfate de calcium décroît au fur et à mesure que la température s'élève.

Dans les eaux naturelles, la concentration en sulfate et en calcium est bien souvent faible et inférieure à la limite de solubilité du sulfate de calcium.

Cependant, si l'on augmente la concentration en sulfate et en calcium (en évaporant l'eau par exemple), la limite de solubilité du sulfate de calcium peut être atteinte.

Ce sel forme alors un "tartre sulfaté" très dur, très adhérent, très bon isolant thermique. Les tartres sulfatés ne peuvent que très difficilement être éliminés par voie chimique.

On peut prévoir la tendance d'une eau à former des tartres sulfatés, en connaissant son TSO (titre en sulfates, pratiquement obtenu par la différence entre le SAF et le titre en chlorures).

3. La silice :

De même que les carbonates et sulfates de calcium, la silice peut précipiter dans certaines conditions (alcalinité TAC faible, concentration et température élevées), et donner naissance à des "tartres siliceux", excessivement durs, ayant parfois un aspect vitreux, très adhérents.

L'élimination des tartres siliceux ne peut se faire par voie chimique, et ne peut être obtenue que par moletage.

4. Le fer :

Par oxydation à l'air ou par l'oxygène dissous, le fer se transforme en oxydes (la rouille) qui peuvent se rassembler en certains points de circulation moindre, et former des tartres friables, peu adhérents, éliminables par voie mécanique ou chimique (acide chlorhydrique ou citrique).

B. Protection contre la formation des tartres :

La protection contre la formation des tartres sera de la nature de tartre dont on veut éviter la formation.

Mais, quel que soit le type de tartre vis-à-vis duquel on veut assurer une protection, il est possible d'intervenir suivant trois procédés généraux :

- le maintien de la concentration des sels en -deçà de leur limite de solubilité.
- l'épuration qui consiste à éliminer de l'eau des éléments générateurs de tartres.
- le conditionnement, qui consiste à additionner l'eau d'un réactif qui maintient en dispersion les produits devenus insolubles et qui précipitent, s'opposant ainsi à leur rassemblement en dépôts incrustants, ou bien, qui modifie la composition de l'eau de telle façon que les éléments générateurs de tartre ne peuvent plus précipiter.

Il est évident que l'usage qui sera fait de l'eau guidera le traiteur d'eau à faire le choix entre l'un de ces procédés ou une de leurs combinaisons.

Par exemple, pour une eau de consommation humaine, le procédé utilisé ne devra, en aucun cas, faire perdre son caractère de potabilité à l'eau traitée.

1. Procédés d'épuration :

a- Protection contre les tartres carbonatés :

Puisque les tartres carbonatés ont pour origine les carbonates d'une part, et le calcium d'autre part on pourra éliminer de l'eau :

- tous les carbonates, c'est la décarbonatation, qui peut se faire par addition d'acide chlorhydrique ou sulfurique.*
- toute la dureté, c'est l'adoucissement par permutation sodique.*
- la dureté carbonatée, c'est une décarbonatation qui est effectuée soit sur résine échangeuse d'ions qui fixe la dureté liée aux bicarbonates, soit par addition de chaux (décarbonatation à la chaux).*

b- Protection contre les tartres sulfatés :

De même, il est possible, pour éviter la formation de tartres sulfatés, d'éliminer de l'eau,

- soit toute la dureté : Adoucissement par permutation sodique.*
- soit les sulfates : Par déminéralisation totale.*

c- Protection contre les tartres siliceux :

On assurera une protection contre la formation des tartres siliceux en éliminant la silice : par échangeurs d'ions, ou à l'aide d'aluminate de soude, de sulfate de magnésium ou de magnésie.

2. Procédés de conditionnement :

Pour le conditionnement des eaux dans le but d'éviter la formation des tartres, on utilise :

- des agents dispersants, qui maintiennent en suspension les éléments précipités et s'opposent à leur rassemblement en dépôts incrustants.*

Parmi ceux-ci : les poly phosphates, les silicates, les dispersants organiques, tels que les tanins, les tannâtes et les lignosulfonates.

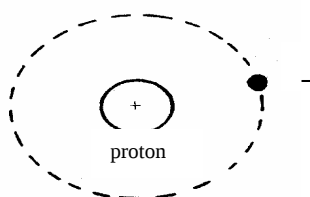
- des agents alcalins, qui entraînent la précipitation des éléments insolubles sous forme amorphe ou peu incrustante, ou bien qui maintiennent ces éléments en solution (c'est le cas de la silice).*

2° MECANISME DES CORROSIONS :

PROTECTION CONTRE LES CORROSIONS

Avant d'étudier le mécanisme des corrosions, nous rappellerons succinctement quelques notions.

Par exemple, si nous prenons l'atome le plus simple, celui de l'hydrogène : il est constitué par un noyau ou proton autour duquel gravite un seul électron (l'électron est la plus petite quantité d'électricité qui puisse exister). On peut donc le représenter par la figure suivante :

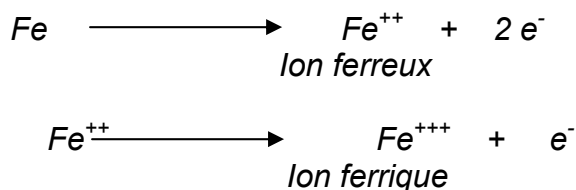


La charge électrique du proton est de la même valeur absolue, mais de signe inverse à celle de l'électron. L'ensemble proton + électron est donc électriquement neutre.

La charge positive du noyau attire l'électron chargé négativement. Si par un noyau quelconque, on fournit à l'électron une énergie suffisante, il peut quitter son orbite. L'atome devient alors une particule chargée positivement, c'est un ION, et le phénomène est appelé IONISATION.

Le Fer possède autour de son noyau un nuage d'électrons et ses électrons les plus éloignés du noyau sont capables, dans certaines conditions, de quitter leur orbite.

Le Fer peut donc, lui aussi, s'ioniser et donner successivement des ions ferreux, puis ferriques, suivant les réactions :



De même que l'hydrogène et le fer, les sels, les acides, l'eau, sont susceptibles de s'ioniser.

MECANISME DE LA CORROSION ELECTRO-CHIMIQUE

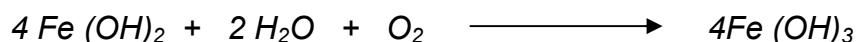
La corrosion des circuits d'eau provient du fait que le fer est thermodynamiquement instable dans l'eau.

Si, par exemple, nous plongeons dans l'eau un échantillon de tuyauterie en acier, le fer a tendance à s'ioniser en ions ferreux qui ont eux mêmes tendance à passer en solution dans la phase liquide suivant la réaction :

mécaniques qui se sont traduites par des différences locales de déformation du réseau cristallin. Entre deux points voisins existe donc une hétérogénéité invisible mais capitale, puisqu'elle permet la création de couples électriques locaux.

CORROSION PAR L'OXYGENE

L'oxygène est capable d'oxyder l'hydroxyde ferreux $\text{Fe}(\text{OH})_2$ en hydroxyde ferrique $\text{Fe}(\text{OH})_3$ suivant la réaction :



l'hydroxyde ferrique est peu soluble et se dépose à la surface du métal. Mais ce dépôt est poreux et laisse passer les ions.

La corrosion peut donc se poursuivre en profondeur.

C'est le processus de corrosion par formation de piqûres qui caractérise la corrosion par l'oxygène.

CORROSION PAR LE CUIVRE

Les particules de cuivre qui peuvent être présentes dans l'eau se déposent en des points bien précis aux points chauds des chaudières et des échangeurs en particulier.

Les dépôts ainsi formés sont spongieux et se remplissent rapidement de phosphate et deviennent thermiquement très isolants. Il s'ensuit alors une surchauffe locale du métal et une fatigue accrue de ce dernier qui devient anodique par rapport aux parties non recouvertes par ces dépôts, et subit la corrosion électro- chimique suivant le processus décrit plus haut.

CORROSION PAR CAVITATION

Le phénomène est observé quand un liquide circule à grande vitesse le long des parois. Sa pression statique devient alors inférieure à sa tension de vapeur. Il se forme spontanément des bulles de gaz (vapeur d'eau, gaz de l'air dissous) qui implosent quand elles se trouvent entraînées dans une zone où règne une pression supérieure.

La pression locale engendrée par ce phénomène de très courte durée peut atteindre plusieurs milliers de bars.

Il s'ensuit une fatigue locale des zones soumises à la cavitation et le métal subit une déformation de son réseau cristallin et ne résiste pas longtemps à la dégradation. Par ailleurs, le métal écroui devient fortement anodique par rapport au métal non soumis à la cavitation, vient alors s'ajouter l'effet électro- chimique qui accroît la vitesse de destruction.

CORROSION PAR LES CAUSTIQUES

Les caustiques, la soude en particulier, peuvent se concentrer dans des failles, des cassures, ou des fêlures, existant à la surface du métal par suite d'une sous tension.

La soude concentrée peut alors dissoudre la couche protectrice de magnétite et former un ferrate de sodium soluble.

CORROSION PAR LES ORGANISMES VIVANTS

Certains algues et bactéries se nourrissent du fer ou bien produisent à partir des éléments dissous dans l'eau, des produits agressifs vis-à-vis de l'acier.

Parmi ces organismes vivants, citons le désulfovibrio- désulfurations, qui réduit les sulfates de l'eau en soufre et sulfures qui attaquent l'acier.

Les attaques par le désulfovibrio se caractérisent par la présence de pustules friables sous lesquelles stagne un liquide noir opaque à forte odeur d'hydrogène sulfuré. Sous cette poche de liquide noir, le métal a l'aspect métallique, brillant, comme sablé.

Les bactéries ferrugineuses interviennent comme des réactions cathodiques en se nourrissant d'hydrogène.

CORROSION – EROSION

Ce type très particulier de corrosion procède d'un mécanisme purement physique lié à une vitesse de circulation excessive dans les canalisations.

La corrosion- érosion, se traduit par la destruction locale des couches protectrices qui tendent à se former dans les zones où se produisent des turbulences.

Différents facteurs peuvent accélérer cette dégradation tels que particules d'oxydes ou tartre en suspension mais aussi les bulles de gaz libérés par le chauffage de l'eau.

Le cuivre est tout particulièrement sensible à ce type de corrosion qui se présente sous forme de cratères à profil dissymétrique exempts de produits de corrosion, localisés en aval d'un obstacle ou d'une réduction brutale de section.

MOYENS DE LUTTE CONTRE LES CORROSIONS

On a vu que les corrosions ont toutes pour origines la création de piles électriques constituées par:

- *une anode qui libère des électrons et des ions fer;*
- *un liquide conducteur de courant;*
- *une cathode qui capte les électrons libérés par l'anode.*

Il apparaît que la lutte contre la corrosion consistera :

- *à bloquer les réactions anodiques;*
- *à bloquer les réactions cathodiques;*
- *à bloquer à la fois, les réactions anodiques et les réactions cathodiques.*

Contrôle des réactions anodiques

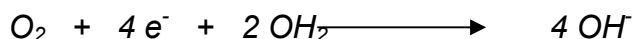
Consiste à contrôler la migration des électrons et des ions ferreux. Ne peut s'obtenir qu'en formant, à la surface du métal, une couche imperméable qui s'oppose à ces migrations.

Contrôle des réactions cathodiques

Les deux principaux facteurs des réactions cathodiques sont, nous l'avons vu précédemment, les ions hydrogène H^+ et l'oxygène.

La réduction de la concentration en ions H^+ est obtenue en augmentant le pH.

Cette augmentation du pH entraîne une augmentation de la concentration en ions OH^- et tend à renverser le sens de la réaction.



Donc à bloquer l'absorption des électrons par l'oxygène.

On peut aussi bloquer les réactions cathodiques en éliminant l'oxygène par un réducteur adapté.

Formation d'une couche protectrice

Les différentes réactions électrochimiques peuvent être bloquées en isolant le métal de l'eau, en formant une couche protectrice.

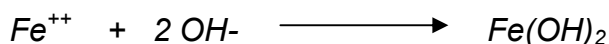
Formation d'une couche de magnétite

Aux dépens des oxydes de fer.

Se fait rapidement aux températures supérieures à $220^\circ C$, très lentement aux températures inférieures, suivant la réaction :



Il faut pratiquement, faciliter la formation de ce film de magnétite et ceci ne peut être obtenu que par l'intermédiaire de réducteur puissants (tanius, hydrazine) et en relevant le PH de l'eau, de manière à faciliter la formation de l'hydroxyde ferreux $Fe(OH)_2$ suivant la réaction :



Fonction d'un film protecteur

On utilise les phosphates, les tanins, les amines grasses, les silicates, les chromates, les nitrites, etc...

Destruction des organismes vivants

Les algues et les bactéries peuvent être détruites au moyen du chlore et de ses dérivés (eau de javel, hypochlorites, etc...) mais aussi au moyen d'agents biocides puissants comme les polychlorophénols (toxiques pour l'homme, donc réservés aux circuits d'eau industriels) ou les ammoniums quaternaires.

III- Principaux traitement des eaux de chaudières

1° ADOUCISSEUR A PERMUTATION SODIQUE :

Nous avons vu au chapitre précédent, les effets néfastes provoqués par certains sels comme le calcium et le Magnésium. Il a donc fallu mettre au point des systèmes permettant l'élimination des sels indésirables dans l'eau. L'appareil le plus utilisé est l'adoucisseur.

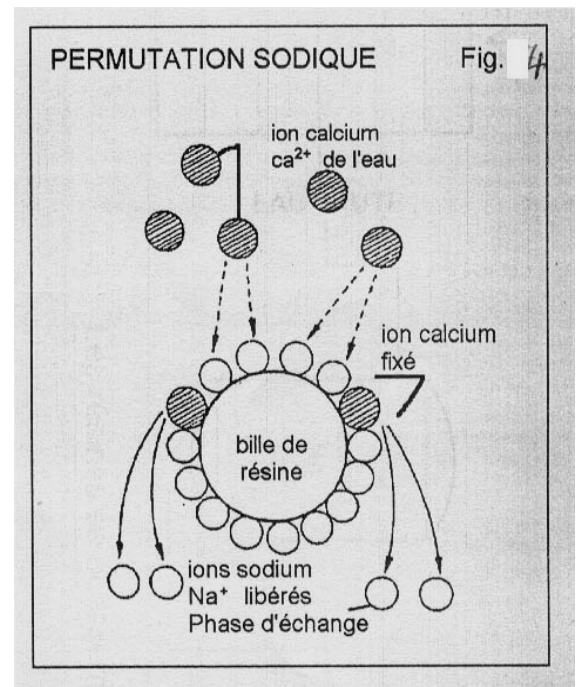
PRINCIPE :

Les ions calcium et Magnésium dissous
Dans l'eau sont remplacés en quantité
Correspondante par des ions Sodium.

La permutation sodique met en jeu des
Résines de synthèse qui se présentent sous
la forme de petites billes de polystyrène
sulfoné, poreuses.

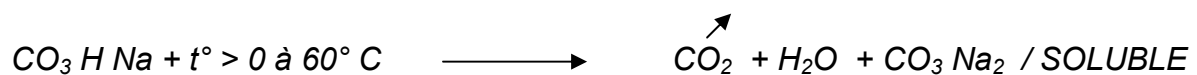
Ces polystyrène sont obtenus par action de
l'acide sulfurique sur des composés benzéniques.

Ces billes de résines de diamètre 0,3 à
1,5 mm ont la particularité de fixer les ions
sodium (voir fig. 4 et 5) pour les échanger par
les ions calcium et Magnésium de l'eau.

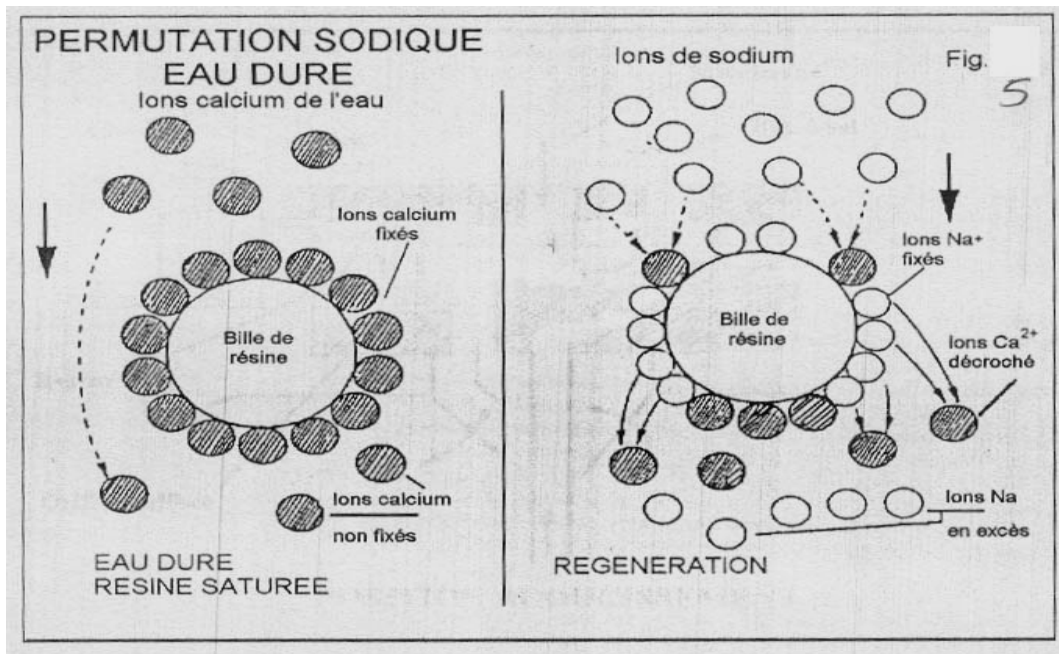


En sortie du lit de résines, le TH de l'eau est égale à 0°f. Par contre, l'eau est chargée en sels de Sodium mais il n'y a pas d'entartrage.

Si l'on chauffe une eau adoucie, les Bicarbonates de Sodium se décomposent en CO₂ et en Carbonates de Sodium solubles suivant la réaction:



Lorsque les résines ont épuisés les ions Sodium qu'elles fixaient, l'adoucisseur devient **inopérant**.

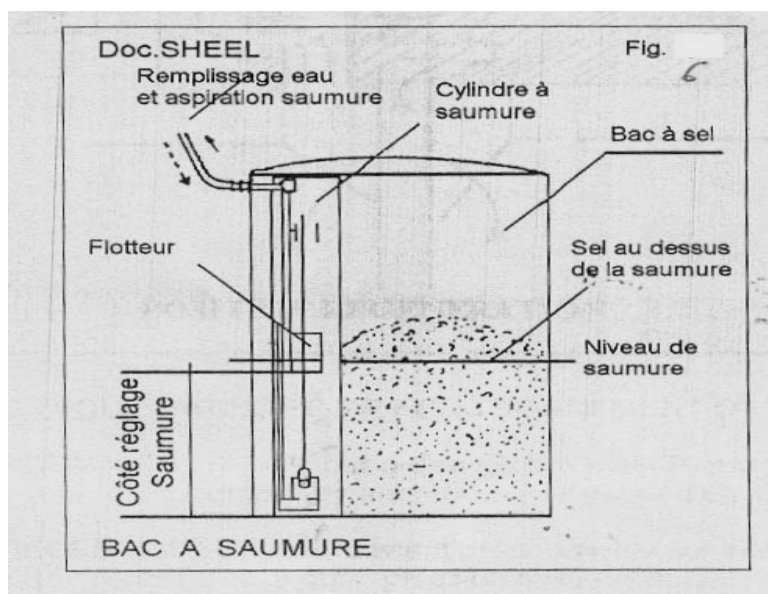


Il faut donc procéder à une opération appelée « **REGENERATION** »

Les résines ont cette particularité d'échanger dans les deux sens ; le système est réversible si les résines sont mises en présence d'une solution très riche en sodium (**SAUMURE**), elles vont échanger dans le sens inverse et donc se retrouver à nouveau chargée en ions sodium pour effectuer un nouveau cycle d'adoucissement.

La **SAUMURE** est une solution sur-saturée en Chlorure de Sodium, (200g/l) mais au niveau des résines, cette solution passe par un « **Hydroéjecteur** » qui la dilue et la ramène à 100g/l environ.

Densité de la saumure : 1.180 à 1.220.



1.1. Régénération :

Le cycle de régénération des résines comporte plusieurs phases manuelles (anciens modèles d'adoucisseurs) ou automatiques, à savoir :

a- Soulèvement ou dé tassage des résines :

En faisant passer de l'eau à contre courant, les résines vont être brassées, or les résines qui échangent le plus (celles des couches supérieures) ont une densité plus élevée que celles des couches inférieures. Pendant le brassage, les billes les plus lourdes vont se retrouver dans le fond du lit de résines et celles n'ayant pas ou peu échangé au-dessus. Ce brassage élimine également les matières en suspension.

b- Saumurage ou injection de sel :

Les eaux qui contiennent les ions Calcium et Magnésium sous forme de Chlorures sont rejetées à l'égout. Le rendement de régénération est faible, il faut utiliser 200% à 300% de la quantité de sels fixés pour obtenir une bonne régénération.

c- Rinçage lent :

En fin de saumurage, l'appareil est rempli d'eau salée qu'il faut éliminer avant reprise du cycle normal. On admet l'eau de rinçage au même débit que la régénération, $\frac{1}{2}$ du débit nominal, pour qu'il n'y ait pas mélange mais évacuation en « bloc » on dit aussi en « piston ».

L'opération a une durée variable de cinq à vingt minutes.

d- Rinçage rapide :

Il se fait au débit nominal et permet d'éliminer les « queues de rinçage » (dernières traces de sel).

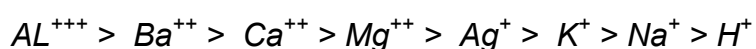
Le contrôle du rinçage peut se faire par la mesure des Chlorures de l'eau de rinçage allant à l'égout. La teneur en Chlorures ne doit pas dépasser 10% de la teneur de l'eau brute.

Le contrôle de bon fonctionnement se fait en sortie de l'appareil : mesure du TH = 0°F et des chlorures < à 1,5 fois la teneur de l'eau brute.

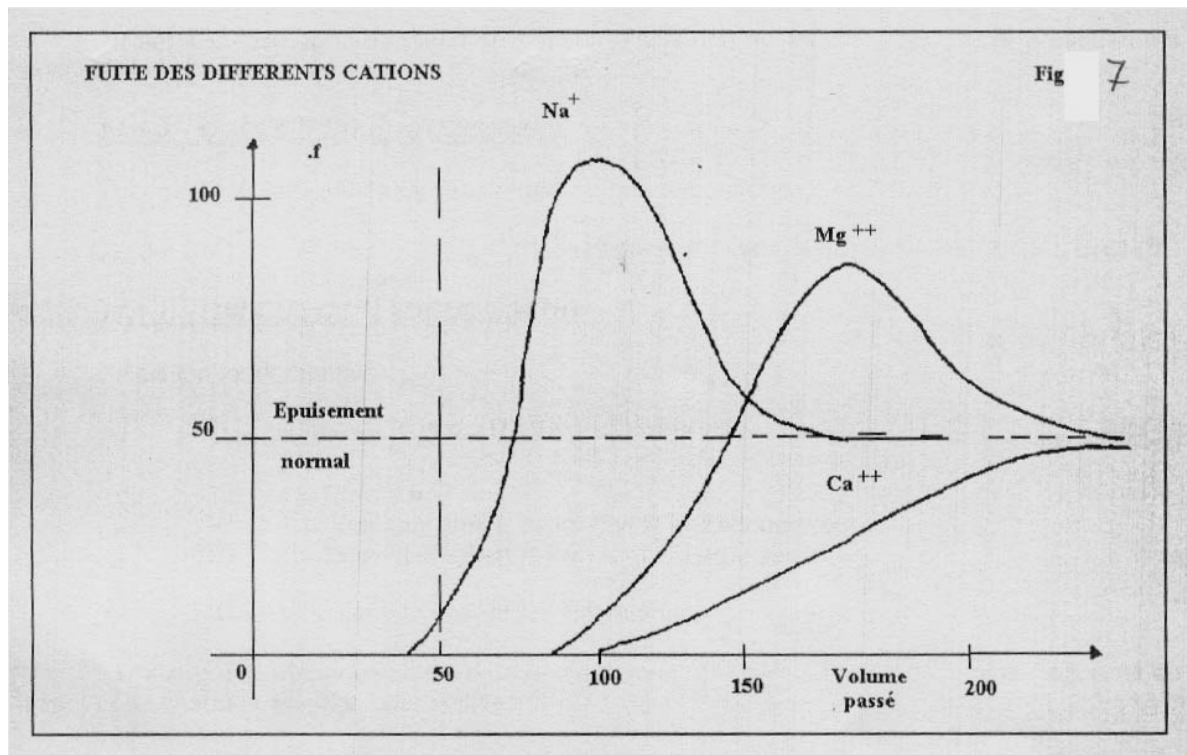
1.2. Fuite ionique (LEAKAGE) :

Les affinités d'une résine donnée différent selon les ions d'une même charge et également pour les ions de charge différente.

Les résines cationiques fortes préférant dans l'ordre :



Il s'ensuit une fixation préférentielle pour le Calcium et le Magnésium vis à vis du Sodium d'où « fuite ionique » de Sodium bien avant qu'il y ait fuite de Calcium qui indique l'épuisement des résines.



Les résines peuvent subir ce que l'on appelle un empoisonnement c'est à dire que petit à petit elles peuvent être enveloppées par des impuretés contenues dans l'eau.

Les principaux ennemis des résines sont :

- Les oxydes de fer qui précipitent sur les résines sous forme d'hydroxydes insolubles qui ne s'éliminent pas lors de régénérations.
- Les matières organiques qui peuvent proliférer avec la chaleur ou pendant les périodes d'arrêt.
- Il est donc nécessaire de procéder régulièrement à un examen des résines et si besoin est de les remplacer.

1.4. Durée de vie des résines :

Si elles ne subissent pas de dommages, les résines sont à changer en principe toutes les 1000 régénérations.

Si l'on prend l'hypothèse de 100 régénérations par an, cela donne sensiblement une durée de vie de plus ou moins 10 ans à un adoucisseur domestique.

1.1. Pouvoir d'échange des résines :

Le pouvoir d'échange des résines dans un adoucisseur est fonction d'un grand nombre de facteurs, en général on compte $7^\circ \text{f m}^3 / \text{l}$ c'est-à-dire qu'un litre de résines Na est capable d'échanger 7000°f ou encore un litre de résines peut adoucir 1000 l d'eau titrant 7°f de TH.

Il est à noter que la variation du pouvoir d'échange en fonction de TH est pratiquement nulle en dessous de $TH = 70^{\circ}f$.

1.2. Cycle d'un adoucisseur :

Volume d'eau adoucie entre deux régénérations successives.

$CYCLE (m^3) = P. ECHANGE (^{\circ}f m^3 / l \text{ de résines}) \times N.l \text{ de résines} / DURETE DE L'EAU (^{\circ}f)$.

1.3. Calcul d'un adoucisseur :

Relation fondamentale :

$$Q (L \text{ de résines}) = TH \times V / Pe$$

Ou : TH = Dureté en $^{\circ}f$

V = Volume d'eau à traiter (cycle de l'adoucisseur)

Pe = Pouvoir d'échange en $^{\circ}f. m^3 / l \text{ de résines}$

Il faut tenir compte des débits instantanés.

Chez tous les fabricants il existe des abaques qui permettent de déterminer l'appareil en fonction de chaque utilisation bien définie.

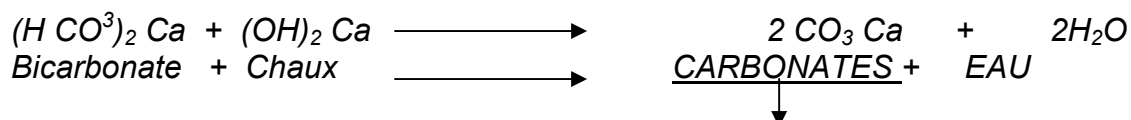
2° DECARBONATATION :

- A LA CHAUX
- SUR RESINES

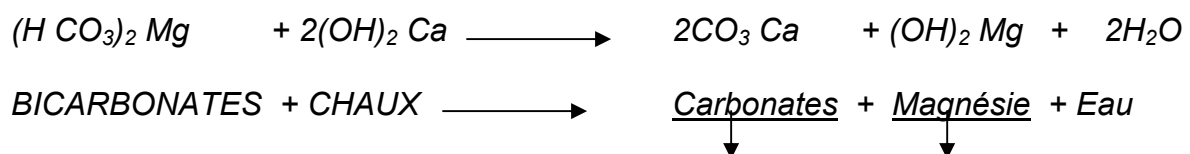
1.4. Procédé a la chaux :

La chaux se combine aux Bicarbonates pour former des Carbonates qui précipitent et peuvent être éliminés sous forme de boues que l'on recueille à la partie basse des décanteurs.

Les réactions sont les suivantes :



Pour les Bicarbonates de Magnésium nous aurons :



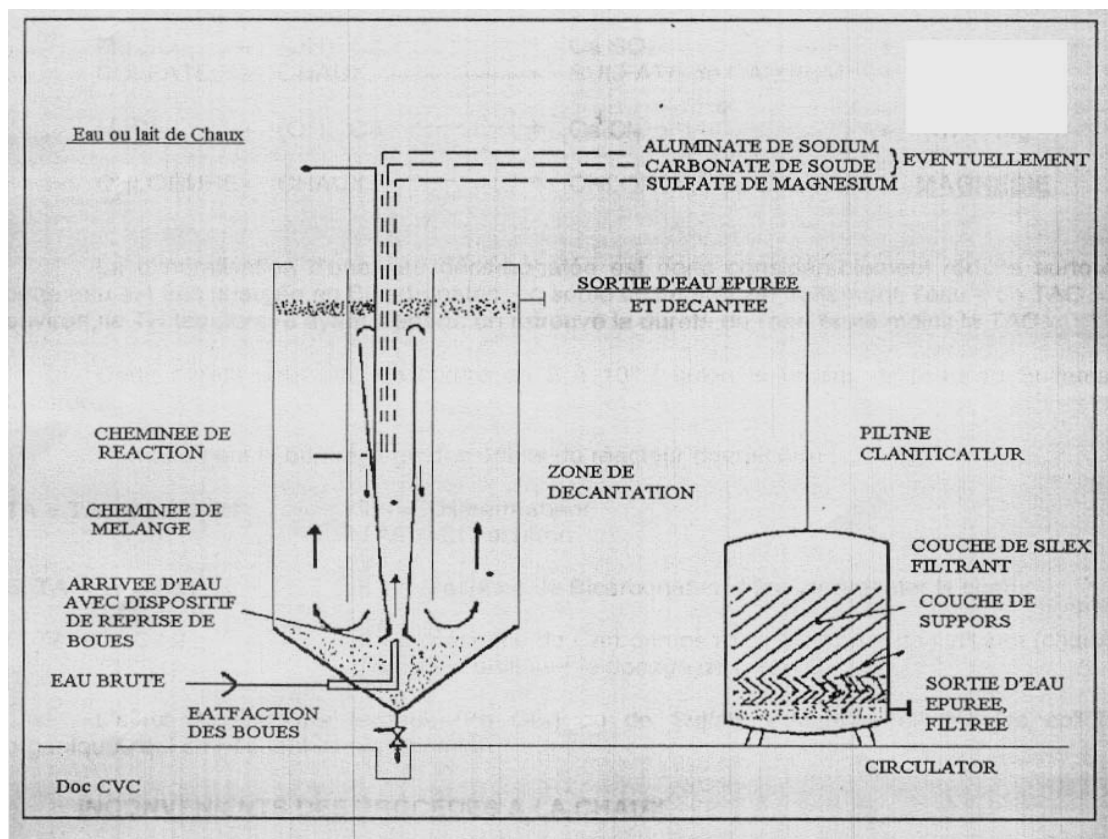


Figure 8

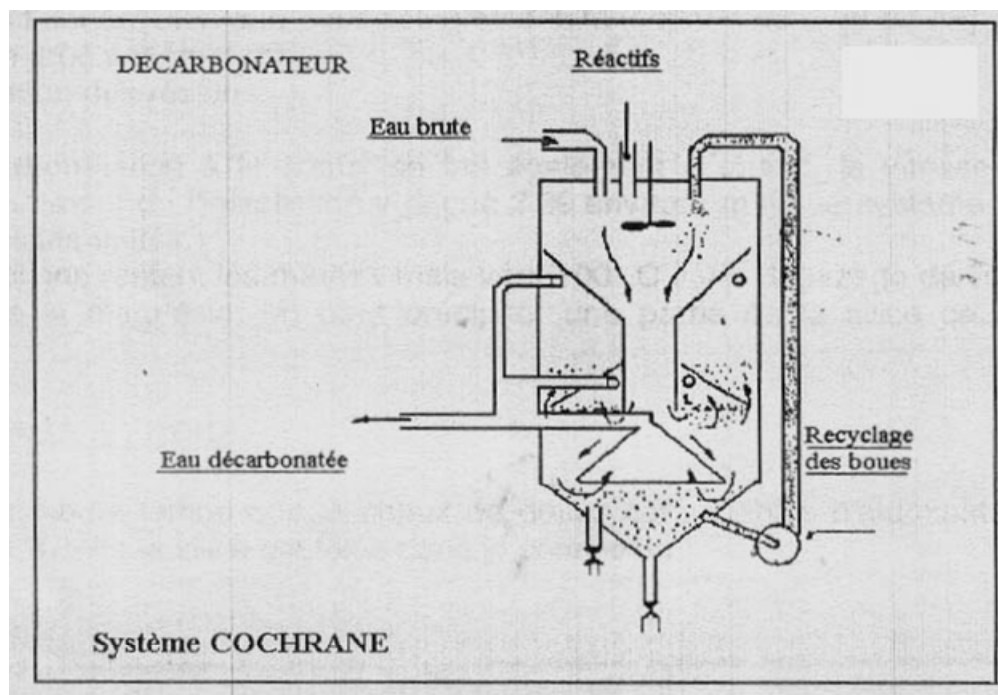
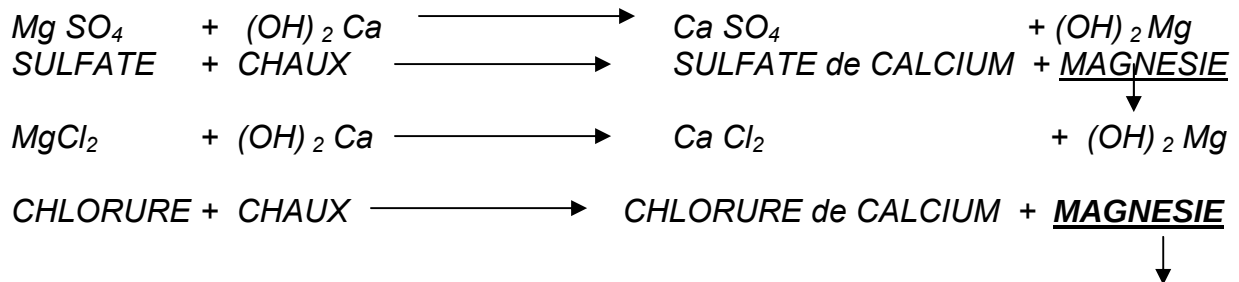


Figure 9

La consommation de chaux est double pour précipiter les Bicarbonates de Magnésium. Si l'eau contient des sels de Magnésium sous la forme de sulfates ou Chlorures, il y a également réaction selon :



La minéralisation d'une eau décarbonatée est donc considérablement réduite surtout si cette eau est très chargée en Bicarbonates, en sortie des unités de traitement, l'eau a un TAC = 3°f environ, le TH temporaire ayant disparu, on retrouve la dureté de l'eau brute moins le TAC.

Cette dureté peut être de l'ordre de 5 à 10° f selon la teneur de l'eau en Sulfates et Chlorures.

Normalement le bon réglage des débits du réacteur devrait être :

$$TA = TAC / 2 \pm 0,5^\circ f$$

$$TH = TH \text{ permanent}$$

$$TAC = 2^\circ f \text{ environ}$$

$$\text{Si } TA < TAC / 2$$

il y a présence de Bicarbonates, il faut augmenter la chaux

$$\text{Si } TA > TAC / 2$$

il y a présence de Carbonates et d'Hydroxyde de Calcium (chaux), il faut donc diminuer le dosage de celle-ci.

L'ajout de Chlorure ferrique (Fe Cl_3) ou de Sulfate d'Alumine élimine les colloïdes organiques qui empêchent la cristallisation.

INCONVENIENTS DES PROCEDES A LA CHAUX

- Ne fonctionnent bien que pour des gros débits (supérieurs à $10 \text{ m}^3 / \text{h}$)
- Matériel très encombrant
- Elimination des résidus.

La décarbonation à la chaux se fait également à chaud, la vitesse de réaction étant meilleure, le rendement de l'installation y gagne 2% environ, mais ce système n'est employé que pour les très grosses unités.

Les réactions restent les même mais vers 100°C il y a dégazage de l'oxygène dissous et si l'on ajoute de la magnésie, on peut précipiter une partie de la silice ce qui est loin d'être négligeable.

DECILICAGE A FROID

Ajout en même temps que la chaux de doses convenables d'aluminate de sodium et de chlorure ferrique. 1/5 de la silice est fixée dans le complexe.

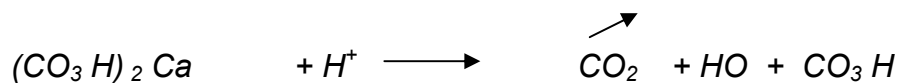
2.2. Procédé sur résines carboxyliques :

Ce procédé consiste à éliminer les Bicarbonates et les transformer en CO_2 ; on utilise pour cela des résines cationiques faibles (RH^+) appelés résines carboxyliques.

Ces résines vont fixer les ions :

- Calcium
- Magnésium
- sodium

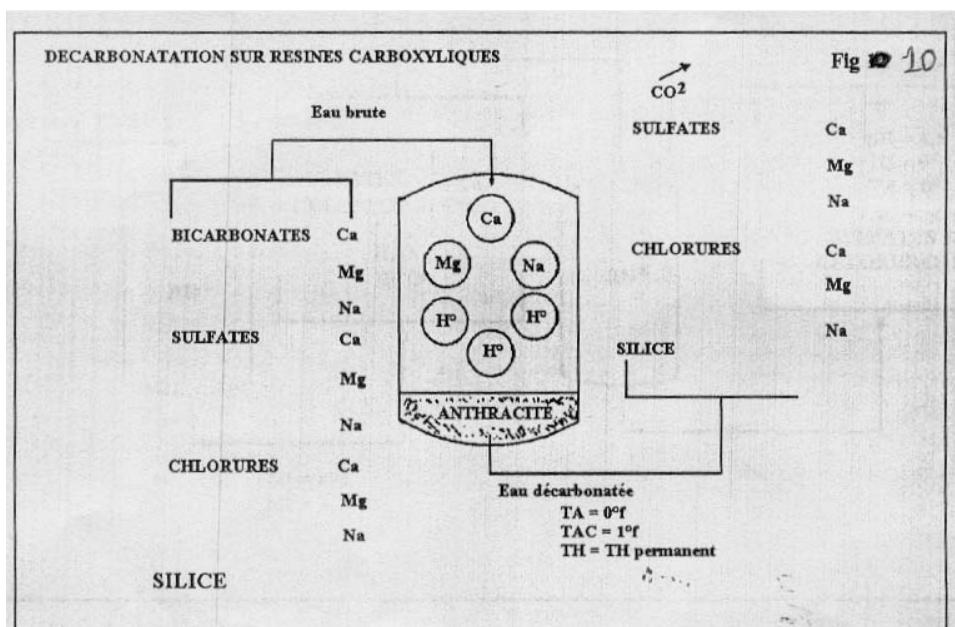
liés aux Bicarbonates et libérer l'acide carbonique de ces Bicarbonates selon :

**AVANTAGES :**

- diminution de la minéralisation de l'eau
- Absence de Bicarbonates.

INCONVENIENTS :

- le PH est très diminué par la production de CO_2 et d'acide carbonique.
- Il se situe entre 4,5 et 5.



En règle générale, la décarbonatation est pratiquement toujours suivie d'un adoucissement (voir fig.11)

Le système est avantageux : l'eau ne contenant plus ni Calcium, ni Magnésium (tartre), son TH est égal au TH permanent, son pH égal à 4.5 - 5 peut être corrigé facilement ;

son TAC est très faible : inférieur ou égal à un degré, indiquant que les Bicarbonates sont pratiquement éliminés, donc pas de dégagement de CO_2 en chaudière.

L'emploi de résines carboxyliques n'est pas autorisé en industries agroalimentaires.

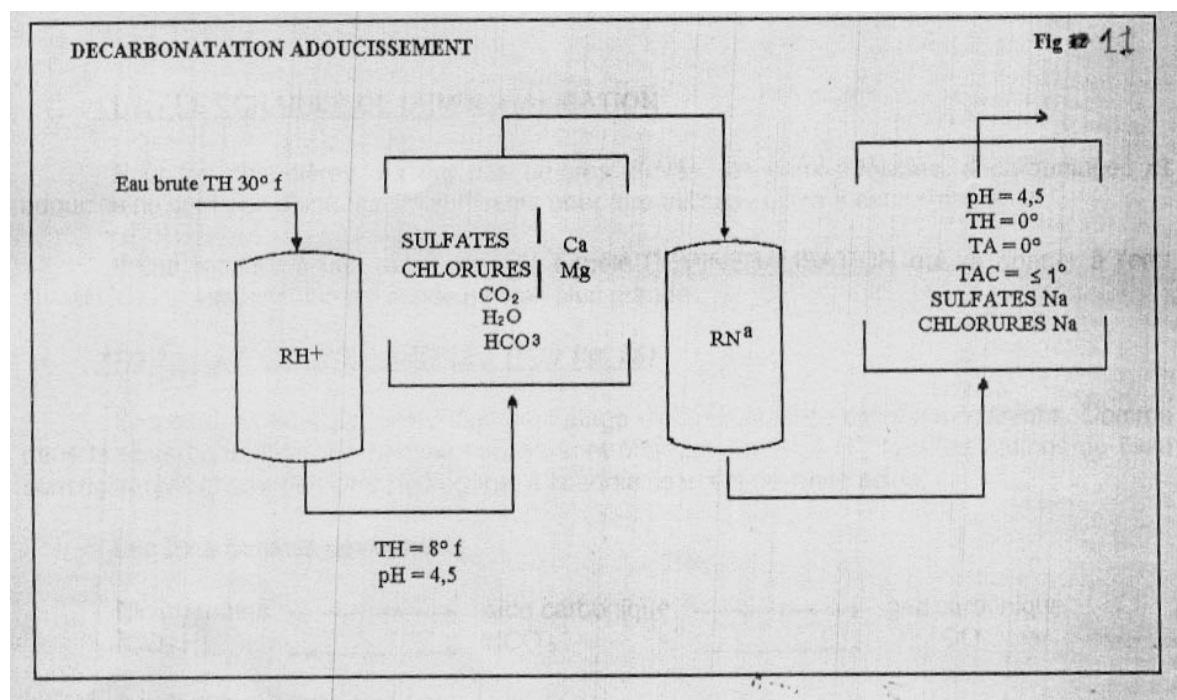
2.3. Régénération des résines

a- Résines carboxyliques :

La régénération de ces résines $(\text{RH})^+$ se fait à l'aide d'acide chlorhydrique ou d'acide sulfurique.

Cette régénération se fait lorsque le TAC augmente.

Il faut noter que la teneur des eaux brutes en Sulfates et Chlorures peut passer de un à quatre selon les saisons et qu'il faut donc surveiller le TH en même temps que le TAC.

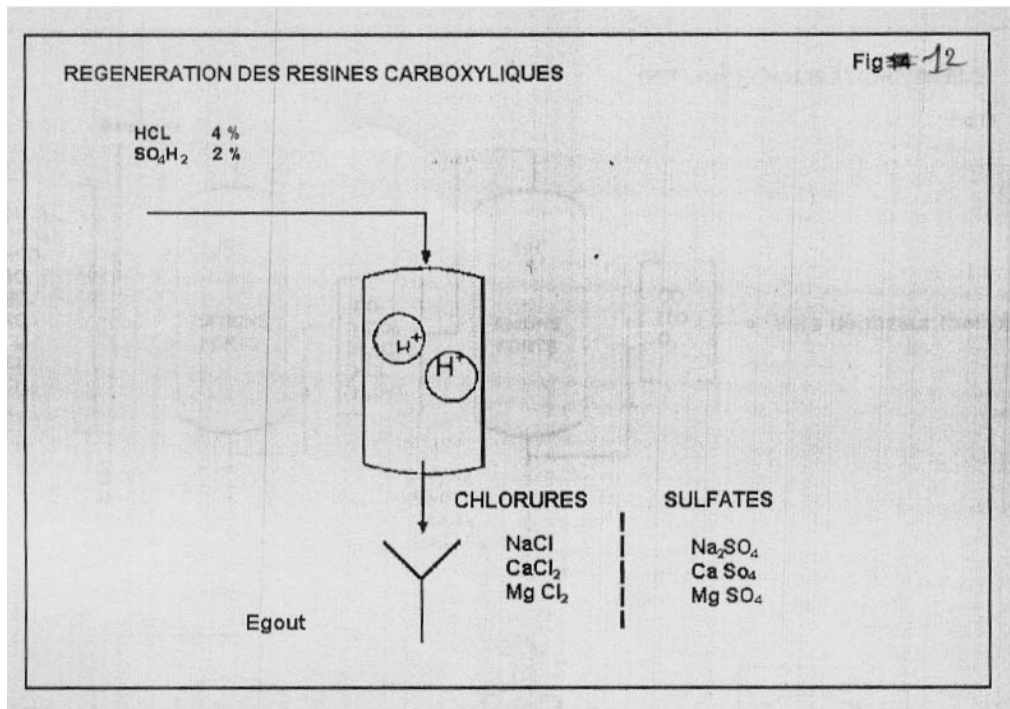


L'acide chlorhydrique doit être dilué : 5 % maximum.

L'acide sulfurique nécessite une dilution deux fois plus petite (H_2SO_4) et il peut y avoir risque d'empoisonnement des résines par des métaux lourds. (Traces de plomb dues à la fabrication de l'acide).

b- Régénération des résines (R-Na):

Cette régénération se fait comme pour les adoucisseurs simples : à l'aide d'une solution de Chlorure de Sodium (NaCl) saturée.



3° LES CHAINES DE DEMINERALISATION :

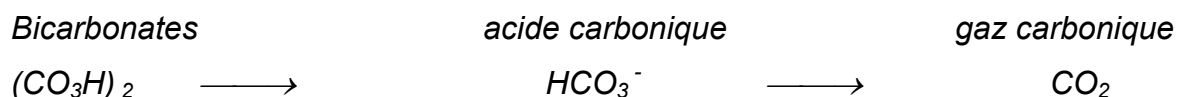
Pour les chaudières qui ont des timbres élevés, les eaux adoucies, décarbonatées et adoucies ne sont pas d'une qualité suffisante pour être utilisées comme eaux d'appoint.

Il faut recourir à un autre procédé appelé DEMINERALISATION qui va donner à l'eau suivant les installations une pureté de plus en plus grande.

3.1. Les chaînes simples :

Ces chaînes sont pourvues d'un seul étage d'échangeurs de cations et d'anions. Comme dans la décarbonatation, les résines cations sont chargées en ions H⁺, tous les cations de l'eau sont échangés contre des ions Hydrogène, à la sortie l'eau est devenue acide.

Les Bicarbonates deviennent :



les Sulfates deviennent :



Les chlorures deviennent :



La Silice devient :

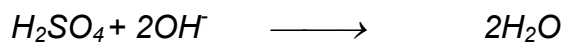


A condition qu'il y ait assez de « place » dans l'échangeur cation, l'échange se fait dans l'ordre

Sulfates $\longrightarrow$ Chlorures $\longrightarrow$ Bicarbonates et enfin Silice.

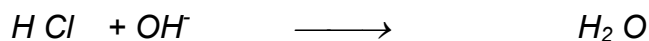
La silice doit passer sous la forme d'acide silicique $\text{Si O}_3\text{H}$, s'il n'y a pas suffisamment de « place » dans l'échangeur, elle reste sous sa forme première Si O_2 ou silicates.

Dans l'échangeur d'anions (OH^-), l'acide sulfurique devient :



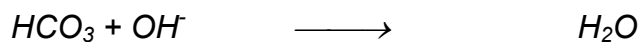
Retenu sur les résines

L'acide chlorhydrique devient :



Retenu sur les résines

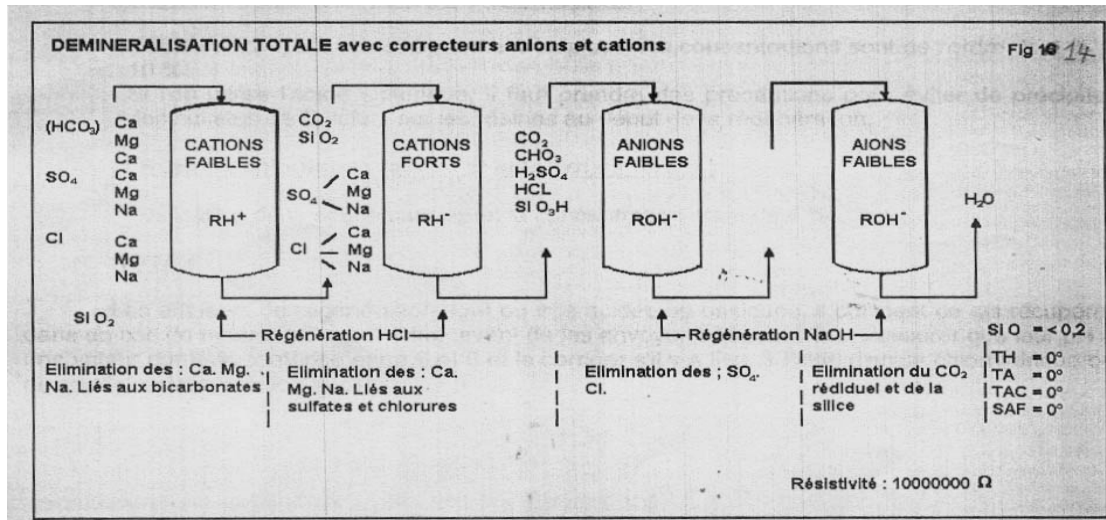
L'acide carbonique devient :



Retenu sur les résines

3.2. Les chaînes composées :

Ces chaînes de déminéralisation totale comportent plusieurs échangeurs de cations et d'anions ou encore des « lits mélangés », c'est à dire que les résines cations et anions sont mélangées dans un seul récipient (mixed-bed).



L'eau passe déjà sur des résines cationiques faibles (résines carboxyliques) comme dans les systèmes de décarbonatation. Ces résines retiennent le Calcium, le Magnésium et le sodium provenant des Bicarbonates, l'eau passe ensuite sur des résines cationiques fortes qui retiennent le Calcium, Magnésium et Sodium liés aux Sulfates, Chlorures et Nitrates qui sont des sels d'acides forts.

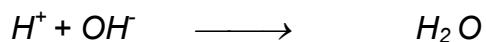
Les résines qui fixent un ion Calcium, Magnésium ou Sodium, libèrent à chaque fois un ion H^+ (acide), les sels d'acides forts sont donc transformés en leurs acides correspondants.

Sulfates (SO_4^-) $\longrightarrow$ Acide sulfurique ($\text{H}_2 \text{SO}_4$)

Chlorures (Cl^-) $\longrightarrow$ Acide chlorhydrique (HCl)

Nitrates (NO_3^-) $\longrightarrow$ Acide nitrique (HNO_3)

Tous les cations sont éliminés, les acides contenus dans l'eau vont passer ensuite sur les résines anioniques qui vont fixer les ions SO_4^- , Cl^- et NO_3^- ; libérer des ions OH^- qui vont se combiner avec les ions H^+ des acides pour donner de l'eau



Le dernier lit de résines à traverser sera une résine anionique forte qui va fixer l'ion CO_2 l'ion silice en libérant elle aussi des ions OH^-

3.3. Régénérations des résines :

a- Résines cationiques faibles (carboxyliques) :

La régénération se fait comme dans le cas de la décarbonatation à l'acide chlorhydrique dilué à 4%.

b- Résines anioniques faibles et anioniques fortes :

l'acide chlorhydrique est également employé, les concentrations sont de l'ordre de 4% à 10%.

Si l'on utilise l'acide sulfurique, il faut prendre des précautions pour éviter de précipiter des sulfates de Calcium sur les résines au début de la régénération.

c- Résines anioniques faibles et anioniques fortes :

Utilisation de la soude caustique, la concentration étant de 4%.

4° DEGAZAGE THERMIQUE :

Le dégazage thermique est utilisé essentiellement pour éliminer l'oxygène et le gaz carbonique dans les eaux de chaudières.

Le procédé employé consiste à réchauffer l'eau à 103-105° C et à la pulvériser à contre courant d'un jet de vapeur.

A la sortie du dégazeur, l'eau a une teneur en $\text{CO}_2 = 0$

Pour l'oxygène :

- | | |
|------------------|--|
| - à 15° C | = 11 mg/L environ dans l'eau brute |
| - après dégazeur | = 0.1 mg/L maximum en valeur pratique. |

Il faudra donc compléter le traitement de l'eau par un agent chimique réducteur d'oxygène.

- HYDRATE D'HYDRAZINE (N_2H_4) :

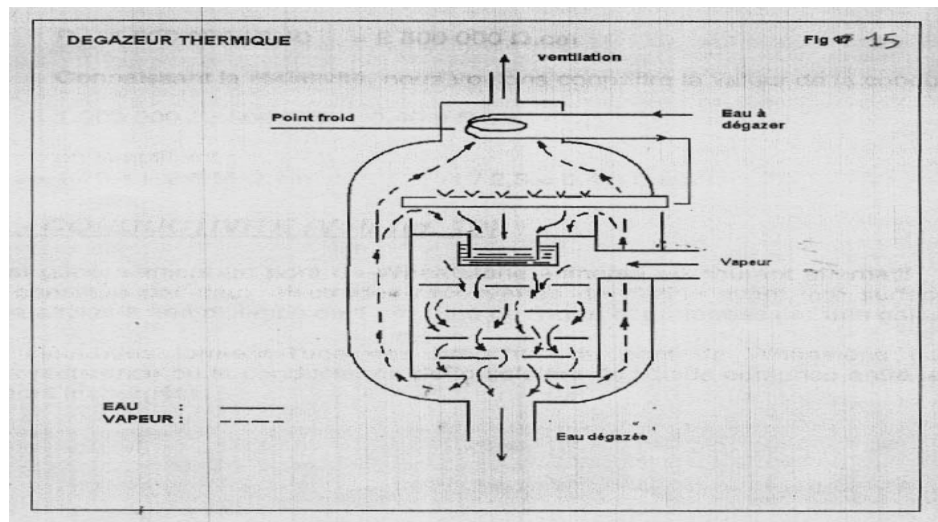
0.5 mg/ l en excès dans les eaux de chaudières.

L'usage de l'hydrate d'Hydrazine n'est pas autorisé en industries agroalimentaires.

- SULFITE DE SODIUM SO_4Na_2 :

L'oxygène est fixé pour donner du sulfate de Sodium (SO_4Na_2).

Il est recommandé dans le cas d'emploi des sulfites d'augmenter le débit des purges continues afin de ne pas risquer des dépôts de sulfates de Sodium dans la chaudière.



5° SEPARATION PAR MEMBRANES OSMOSE INVERSE :

5.1. Généralités :

Les procédés de séparation par membranes se sont développés avec l'apparition de nouvelles membranes synthétiques. Ils concernent notamment l'osmose inverse, l'ultrafiltration et la micro filtration.

Leur domaine d'application sont les suivants :

MICROFILTRATION

- Rétention de particules de taille 0,1 nm à 10 nm
- Diamètre des pores de 0,1 à 10 nm

ULTRAFILTRATION

- Rétention de particules de taille inférieure à 0,1 nm et de macromolécules de poids moléculaire allant de 1000 à 4 000 000 (protéines, polymères, virus)
- Diamètre des pores allant de 40 Å à 1000 Å
(1 Å = 1 Angström = 0,0001 nm)

OSMOSE INVERSE

- Rétention des sels dissous (Na^+ , Cl^- etc.) et des molécules organiques.
- Une des variantes de l'osmose inverse est la nanofiltration. Elle se caractérise par un passage des sels monovalents relativement élevé de 30 à 60 mais un passage des sels divalents beaucoup plus faible.

Les membranes sont utilisées dans plusieurs types de modules :

Les modules à plaques, spirales, tubulaires et fibres creuses

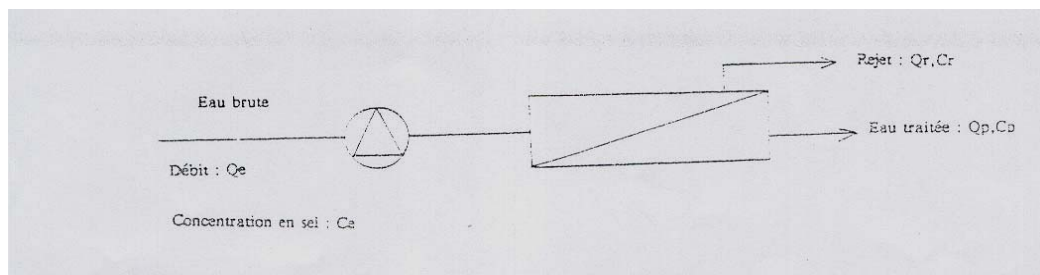
5.2. Osmose inverse :

5.2.1. Principe :

Les membranes d'osmose inverse sont des membranes semi-perméables qui retiennent les ions et laissent traverser l'eau.

Pour produire une eau osmosée, il faut appliquer une pression d'autant plus forte que la concentration des sels de l'eau brute est élevée.

Une installation d'osmose inverse comporte au minimum un module contenant une membrane et une pompe haute pression.



Une partie seulement de l'eau traverse la membrane, l'autre partie de concentration, plus élevée que l'eau brute, est rejetée.

On appelle taux de conversion Y , la fraction de liquide qui traverse la membrane :

$$Y = Q_p / Q_e$$

Un taux de conversion élevée, réduit la quantité d'eau rejetée et la consommation d'énergie. Par contre, en augmentant la concentration en sels dissous dans l'eau rejetée, il diminue la qualité de l'eau traitée et il augmente les risques de colmatage (entartrage, salissures)

Les performances des membranes sont exprimées par le passage des sels

$$PS = 100 \times (C_p / C_s) \text{ en } \%$$

Le tableau N° 6 résume les performances des membranes commercialisées.

	Membranes haute pression « eau de mer »	Membranes moyenne pression « eau saumâtre »	Membrane s basse pression	Nanofiltration
Pression de fonctionnement (bar)	55 – 100	20 - 40	7 - 20	3 – 10
Na ⁺ , K ⁺ , Cl ⁻ (ions monovalents)	0.5 – 1.5 0.1 – 0.5	3 – 8 1 – 3	5 – 15 2- 5	30 – 60 5 – 20
SO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ (ions bivalents)	<2	<5	<5	<5
MO m molaire > 300g ex. pesticides	<10	<10	<15	<15
MO m molaire 80 à 30 g				

5.2.2. APPLICATION :

- Production d'eau déminéralisée d'une résistivité de l'ordre de 50 000 μm . Ce résultat est obtenu en utilisant deux à trois membranes en série. Cette eau est, de plus, exempte de colloïde, bactérie, virus et macromolécule organique.
- Dessalement d'eau saumâtre, pour une eau de process ou une potabilisation. Une élimination de 90 % des sels peut suffire.
- Potabilisation des eaux de mer avec des membranes pouvant retenir plus de 99 % des sels.

5.2.3. Pré-traitement :

Le pré-traitement a pour but d'éviter le colmatage rapide des membranes par les matières en suspension, colloïdes, matières organiques et dépôts de sel (CaCO_3 Fe(OH)_3). Il faut également prévenir la prolifération bactérienne.

Le pré-traitement comprend une clarification (filtration, coagulation, décantation-filtration, une stérilisation par ex chloration sans chloration sur charbon actif).

En vue d'éviter des précipitations de sel, le traitement pourra comporter une déferrisation, un adoucissement, une vaccination acide.
Des dispersants, sont également utilisés.

IV Conditionnement des eaux et ses principaux produits

LES PRINCIPAUX PRODUITS DE CONDITIONNEMENT LEUR MISE EN ŒUVRE

Dans le traitement des eaux, on entend par « Conditionnement » l'addition de réactifs chimiques, qui ont pour effet de modifier la composition physico-chimique de l'eau, donc son comportement, et de la rendre inerte vis à vis des appareils qui l'utilisent.

Une eau correctement conditionnée ne sera plus ni corrosive, ni incrustante et s'opposera au développement des organismes vivants.

1° CLASSIFICATION DES PRODUITS DE CONDITIONNEMENTS, LEURS PROPRIETES, LEURS DOSAGES USUELS :

A- PRODUITS DISPERSANTS :

qui maintiennent les particules solides en suspension s'opposant à leur réunion en dépôts incrustants.

On distingue :

A.1. Les dispersants minéraux :

généralement, ce sont des polymères, c'est-à-dire issus de l'association d'un nombre plus ou moins grand de petites molécules.

Ce sont essentiellement :

- Les poly phosphates : polymères du méta phosphate $PO_3 Na$,
 - Le pyrophosphate,
 - Le tripolyphosphate,
 - L'hexamétaphosphate,
 - les poly phosphates hauts polymères.

Les poly phosphates sont capables d'enrober les germes de cristallisation et de les maintenir en suspension dans l'eau. Leur pouvoir séquestrant est proportionnel à la longueur de la molécule.

En présence d'eau, les poly phosphates sont hydrolysés, c'est-à-dire que leur molécule est coupée par l'eau en molécules de plus en plus petites pour aboutir finalement au phosphate trisodique qui n'a plus de pouvoir dispersant.

La vitesse d'hydrolyse est d'autant plus rapide que la solution de poly phosphate est plus concentrée, que la molécule est plus courte et que la température est plus élevée.

En ce qui concerne la température, on admet généralement que la vitesse d'hydrolyse double chaque fois que la température augmente de $10^\circ C$.

Les poly phosphates sont commercialisés, soit sous forme de poudre soluble, soit sous forme de cristaux vitreux à dissolution lente.

Dosage usuel : de 3 à 10 gr/m^3

- les silicates : en s'hydrolysant, les silicates forment de la silice SiO_2 sous forme de gel colloïdal. Ce gel est capable de maintenir en suspension des particules solides au sein de l'eau.

Les silicates sont beaucoup moins sensibles à la température que les poly phosphates.

Dosage usuel : de 2 à 50 et même 200 gr/m³ suivant le type de circuit à traiter.

A.2. Les dispersants organiques :

ce sont , soit des colloïdes comme le tannin et les tannâtes, soit des tensioactifs comme le lignosulfonate, soit encore des composés organiques du phosphore. Ces dispersants organiques sont oxydés par l'oxygène à chaud (températures supérieures à 70° C).

Ils ont en outre, la propriété de conférer à l'eau une coloration ambrée.

Dosage usuel : 200 à 500 mg par gr de matière solide à maintenir en suspension.

Il est courant d'associer dans un même conditionnement un dispersant organique et un dispersant minéral.

On utilise également des amines grasses comme agent dispersant.

A.3 Les séquestrants ou chélatants ou complexants :

Ce sont des composés organiques qui ont pour propriété essentielle de complexer certains ions (calcium et fer), c'est-à-dire de masquer leurs propriétés habituelles.

Le plus courant est le sel tétra sodique de l'acide Ethylène Diamine Tétracétique, plus connu sous le nom d'EDTA ou de complexon (utilisé pour la mesure de la dureté d'une eau)

Ces sels ont la propriété de dissoudre les dépôts composés de calcium de magnésium ou de fer. C'est pourquoi on les utilise également comme détartrant.

Dosages usuels :

- Comme dispersant : 2 à 5 gr/ m³.
- Comme détartrant : 5 à 20 gr par gramme de dépôt à retirer.

B - PRODUITS ALCALINS :

Les produits alcalins sont utilisés Pour :

- Augmenter le pH d'une eau,
- Augmenter le TA ou le TAC,
- Modifier la forme sous laquelle certains sels précipitent (carbonate de calcium par exemple),
- Maintenir en solution certains sels (silice par exemple).

On utilise :

B.1- Des agents alcalins non volatils :

Ce sont des produits minéraux, parmi ceux-ci :

- La soude Na OH (8 gr/ m³ par ° TA ou ° TAC) en lessive ou en paillette,
- Le carbonate de soude anhydre ou cristallisé (10,6 gr/ m³ de CO₃ Na₂ par ° TAC, 21,2 gr par ° TA),
- Le phosphate disodique PO₄ HNa₂ (18,4 gr/ m₃ par ° TAC. N'apporte pas d'alcalinité TA)
- Le phosphate tridosique anhydre ou cristallisé (en PO₄ Na 16,4 gr/m³ par ° TAC, 32,8 gr/m³ par ° TA).

B.2- Des agents alcalins volatils :

Utilisés essentiellement dans le traitement des circuits de vapeurs et de condensats.

Ce sont des produits organiques comme :

- l'ammoniac NH₃, utilisé sous forme de solution aqueuse, et ses dérivés les amines telles que :
- les amines aliphatiques (diméthyl éthanol amine),
- les amines cycliques (cyclohexylamine, morpholine).

Ces amines sont généralement livrées sous forme de solution aqueuse ; leurs dosages usuels varient la nature chimique de l'amine et naturellement de la concentration de la solution commerciale.

C. LES AGENTS REDUCTEURS D'OXYGENE

Capables de se combiner à l'oxygène.

On distingue :

1. Les réducteurs minéraux, tels que :

- Sulfite de soude anhydre ou cristallisé (8 gr de SO₃ Na₂ par gramme d'oxygène) ;
- Le bisulfite en solution aqueuse ;
- Le gaz sulfureux SO₂ (4 gr de SO₂ par gramme d'oxygène)

2. Les réducteurs organiques

- L'hydrazine, livrée sous forme de solution d'hydrate d'hydrazine (12 ml de solution à 24 % par gr d'oxygène);

- Les tannins;
- Les tannâtes de soude ;
- Les lignosulfonates.

Pour ces trois derniers produits, le dosage varie suivant leur origine de 2 à 5 gr par gramme d'oxygène.

Ces réducteurs organiques ont l'avantage de se combiner avec l'oxygène pour ne former que des composés gazeux (ammoniac, azote et eau pour l'hydrazine, eau et CO₂ pour les autres). Cette propriété est particulièrement intéressante lorsqu'il s'agit de chaudières vapeur puisque les réducteurs organiques ne modifient pas la salinité de l'eau.

L'hydrazine est une amine, donc toxique, les tannins, tannates et lignosulfonates confèrent à l'eau une coloration ambrée qui peut être gênante dans certains cas (industrie alimentaire teinturerie, blanchisserie, papeterie ...).

D- LES AGENTS FILMOGENES :

Capables de former sur les parois métalliques en contact avec l'eau conditionnée un film qui isole le métal de l'eau agressive. On utilise des filmogènes minéraux et des filmogènes organiques.

D.1. Filmogènes minéraux, tels :

- Les chromates : excellents filmogènes, mais toxiques ;
- Les nitrites : non admis pour le traitement des eaux de consommation humaine ;
- Les sels de zinc ;
- Les phosphates : poly, mono sodique, disodique ou trisodique ;
- Les silicates.

D.2 . Les filmogènes organiques :

- les tannins,
- Tannâtes ,
- Les lignosulfonates,
- Les amines grasses, dont bon nombre sont entraînaables par la vapeur d'eau et sont utilisées pour le traitement des circuits de vapeur et de condensats.

Pour tous ces agents filmogènes, le dosage dépendra essentiellement de la surface de métal à protéger.

On les utilise seuls ou combinés à un autre agent filmogène.

E- AGENTS TAMPON :

On appelle agent tampon un élément capable de neutraliser un acide ou une base sans qu'il y ait modification de pH.

Parmi ces tampons, citons :

- les borates,*
- Les benzoates,*
- Les phosphates (mélange phosphates di/ mono sodique ou di/ trisodique).*

F- AGENTS DE PRECIPITATION :

Cette catégorie de produit est utilisée pour précipiter certains ions gênants (calcium et magnésium essentiellement) sous forme amorphe ou peu incrustante.

On utilise pour cela des agents alcalins minéraux comme:

- le carbonate de soude,*
- la soude,*
- le phosphate trisodique,*
- Le borate de soude,*
- le benzoate de soude.*

G- AGENTS BIOCIDES :

Ces agents biocides sont destinés à détruire les organismes vivants, algues et bactéries, ou à en éviter le développement.

On utilise trois grandes catégories d'agents biocides :

G.1. Les dérivés chlorés :

Le chlore gazeux, liquide, l'eau de javel, les polychlorophénols plus actifs que les précédents, mais non admis pour le traitement des eaux potables.

G.2. Les dérivés aminés :

Les amines grasses livrées pures ou sous forme d'émulsions dans l'eau, les ammoniums quaternaires livrés sous forme de solution aqueuse.

Les ammoniums quaternaires ont l'avantage d'être en même temps des agents mouillants et facilitent donc la pénétration de l'eau conditionnée au travers des dépôts qui abritent les colonies microbiennes.

Le dosage des agents biocides sera fonction de la nature et de la résistance des Couches vivantes à détruire et également de la concentration en matière active du produit commercial.

2° MISE EN ŒUVRE DES PRODUITS DE CONDITIONNEMENT :

Les produits de conditionnement seront mis en œuvre d'une façon aussi proportionnelle que possible au débit d'eau à traiter. Suivant l'importance de l'installation, de son volume en eau du débit d'eau d'appoint, on pratiquera :

2.1. Dosage manuel :

Par introduction directe du produit, préalablement dissous dans de l'eau ou non, dans le réseau d'eau à traiter.

Ce mode de dosage, économique certes, sera réservé aux installations de très faibles volumes ou dans lesquels le débit d'eau d'appoint est très faible.

La fréquence des injections de réactif sera calculée en fonction du rapport débit d'eau d'appoint/ volume, de façon à maintenir en permanence un excès de réactif.

2.2. Dosage par gravité :

Le réactif mis en solution dans de l'eau sera stocké dans un récipient en charge sur le réseau à traiter.

Le débit de solution réactive sera réglé soit par un orifice calibré, soit par un robinet à pointeau.

2.3. Dosage par pot à déplacement :

Il s'agit dans ce cas, plus d'une injection que d'un dosage, l'appareil est simplement constitué par une capacité montée en by-pass sur la tuyauterie d'eau à traiter et munie d'un dispositif de remplissage et de vannes d'isolement.

Ce mode d'injection sera réservé au traitement des circuits d'eau totalement fermé sur lesquels l'appoint est effectué en tout ou rien épisodiquement (cas des circuits de chauffage central).

2.4. Doseurs à déplacement :

Dérivés et perfectionnement des précédents, les doseurs à déplacement sont constitués par une capacité munie d'orifices de vidange et de remplissage, d'une arrivée d'eau de déplacement et d'une sortie de solution réactive déplacée.

Le volume d'eau de déplacement est rendu proportionnel au débit d'eau à traiter par un jeu d'orifices calibrés

L'eau de déplacement arrive à la partie supérieure de la capacité et la solution réactive déplacée sort par la partie inférieure.

Ces doseurs peuvent être équipés de rota mètres, de compteurs, etc....

2.5. Pompes dose uses :

a- Pompe dose use :

Il s'agit de pompes de faible débit (0 à 100 litres/ heures pour les modèles courants) qui aspirent une solution de réactif dans un bac de préparation et refoulent dans le réseau d'eau à traiter.

Ce matériel permet de réaliser une bonne proportionnalité entre la quantité de réactif injecté et le débit d'eau à traiter.

b- Asservissement :

Le fonctionnement de la pompe dose use peut être préréglé en fonction d'un débit moyen dans le cas où ce débit ne subit pas de variations importantes.

Dans le cas de débit constant, mais discontinu, la pompe dose use sera électriquement couplée, soit à un contrôleur de débit, soit au système régulateur du débit d'eau à traiter.

Dans le cas d'un débit variable et discontinu, il sera nécessaire de mettre en place un dispositif de proportionnalité.

Ce dernier est constitué par un compteur d'eau qui émet un signal électrique chaque fois qu'un volume donné a traversé le compteur.

Ce signal électrique est transformé par un relais temporisé en une alimentation pendant un temps donné du moteur de la pompe dose use.

c- Bac à réactif :

Le bac de préparation de la solution réactive sera construit en matière plastique (polyéthylène, polyester, etc....) en tôle d'acier éventuellement ébonitée.

La nature du matériau sera choisie en fonction de son prix et de la nature chimique du réactif.

Son volume sera calculé en fonction du temps de fonctionnement de la pompe doseuse, de la solubilité du réactif et du temps de conservation de la solution réactive.

3° PREPARATION DE LA SOLUTION REACTIVE :

a- Mélange de réactifs :

Certains produits de conditionnement peuvent être très bien mélangés et leurs solutions préparées dans un bac unique.

b- Nature de l'eau de dilution :

D'une manière générale, il est toujours préférable d'utiliser une eau aussi épurée que possible pour préparer les solutions réactives.

En effet, l'addition à de l'eau brute de certains réactifs risque d'entraîner la précipitation de certains sels contenus dans l'eau brute.

Les dépôts qui se forment ainsi risquent alors de colmater les pompes doseuses.

C'est le cas en particulier des agents alcalins et des phosphates pour la préparation desquels il faut obligatoirement utiliser une eau au moins adoucie.

c- Température de la solution réactive :

Certains produits se dissolvent mieux dans l'eau tiède (tannâtes, lignosulfonates), d'autres se dégradent très vite quand la température s'élève (sulfites, poly-phosphates).

Module19 : Traitements des eaux
GUIDE DES TRAVAUX PRATIQUES

I. TP 1 : Titres en chaudière

I.1. Objectif(s) visé(s) :

- *Comment arriver à maintenir des titres corrects en chaudière.*

I.2. Durée du TP:

2 Heures

I.3. Matériel (Équipement et matière d'œuvre) par équipe :

a) Equipement :

- *Tableaux des caractéristiques des eaux pour les chaudières à tubes d'eau et à tubes de fumées*
- *Rétroprojecteur*

b) Matière d'œuvre :

- *Papier*
- *Transparents*
- *Stylos pour transparents*

I.4. Description du TP :

Après une comparaison des caractéristiques des eaux pour les chaudières à tubes d'eau et à tubes de fumées, il s'agit d'étudier certains titres et de rechercher les moyens pour les maintenir au seuil demandé.

I.5. Déroulement du TP

- *Distribuer des copies des tableaux des caractéristiques des eaux.*
- *Donner un temps aux stagiaires pour consulter ces tableaux.*
- *Faire la comparaison des titres de ces 2 tableaux.*
- *Donner les titres à étudier.*
- *Trouver ensemble les moyens à utiliser pour maintenir ces titres corrects.*

CARACTERISTIQUES DES EAUX POUR LES CHAUDIERES A TUBES D'EAU
Circulation naturelle. Eau d'appoint adoucie
ou décarbonatée adoucie

Pression de service	≤ 15 bars	15 à 25 bars	25 à 35 bars	35 à 45 bars
Eau d'alimentation conditionnée (eau d'appoint épurée + retours) pH	> 8,5	> 8,5	> 8,5	> 8,5
TH (°F)	< 0,5	< 0,2	< 0,2	< 0,1
O ₂	Elimination physique de l'oxygène dissous par dégazage thermique et/ou utilisation de réactifs réducteurs ou inhibiteurs de corrosion		Elimination physique de l'oxygène dissous par dégazage thermique et utilisation de réactifs réducteurs ou inhibiteurs de corrosion	
Matières huileuses	absence			
Eau de chaudière TAC (°F) TA (°F)	≤ 100 TA = 0,7 TAC	≤ 80 TA = 0,7 TAC	≤ 60 TA = 0,7 TAC	≤ 40 TA = 0,7 TAC
SiO ₂ (mg.l ⁻¹)	< 200	< 150	< 90	< 40
SiO ₂ */ TAC	≤ 2,5	≤ 2	≤ 1,5	≤ 1
Salinité totale (mg.l ⁻¹) Cl ⁻	≤ 4000 ≤ 800	≤ 3000 ≤ 600	≤ 2000 ≤ 400	≤ 1500 ≤ 300
Phosphates PO ₄ ³⁻ (mg.l ⁻¹)	30 à 100	30 à 100	20 à 80	20 à 80
PH	10,5 à 12	10,5 à 12	10,5 à 12	10,5 à 12

(*) : Ce rapport doit être équivalent à celui de l'eau d'alimentation

**CARACTERISTIQUES DES EAUX POUR LES CHAUDIERES A TUBES DE FUMEE
(jusqu'à 25 bars)**

Pression de service	≤ 10 bars	10 à 15 bars	15 à 25 bars
<i>Eau d'alimentation conditionnée (eau d'appoint épurée + retours) pH</i>	$\geq 8,5$	$\geq 8,5$	$\geq 8,5$
<i>TH (°F)</i>	$< 0,5$	$< 0,2$	$< 0,2$
<i>O₂</i>	<i>Elimination physique de l'oxygène dissous par dégazage thermique et/ou utilisation de réactifs réducteurs ou inhibiteurs de corrosion</i>		
<i>Matières huileuses</i>	<i>absence</i>		
<i>Eau de chaudière TAC (°F) TA (°F)</i>	≤ 120 <i>TA = 0,7 TAC</i>	≤ 100 <i>TA = 0,7 TAC</i>	≤ 80 <i>TA = 0,7 TAC</i>
<i>SiO₂ (mg.l⁻¹)</i>	< 200	< 200	< 150
<i>SiO₂*/TAC</i>	$\leq 2,5$	$\leq 2,5$	≤ 2
<i>Salinité totale (mg.l⁻¹) Cl⁻</i>	≤ 5000 ≤ 1000	≤ 4000 ≤ 800	≤ 3000 ≤ 600
<i>Phosphates PO₄³⁻ (mg.l⁻¹)</i>	<i>30 à 100</i>	<i>30 à 100</i>	<i>30 à 100</i>
<i>PH</i>	<i>10,5 à 12</i>	<i>10,5 à 12</i>	<i>10,5 à 12</i>

(*) : Ce rapport doit être équivalent à celui de l'eau d'alimentation

COMMENT MAINTENIR DES TITRES CORRECTS EN CHAUDIERE**DURETE (TH)**

Le **TH** doit impérativement être conforme aux caractéristiques d'alimentation (sortie adoucisseur et eau de bêche)

S'il est supérieur → régénérer l'adoucisseur

ALCALINITE (TA-TAC)

Si TAC > aux caractéristiques → augmenter les purges

S'il est < aux caractéristiques → diminuer les purges

Un rapport TA/TAC = 0,7 est recommandé. La règle fondamentale est : TA > TAC/2 (impératif dans l'eau de chaudière)

CHLORURES (CL)

Si taux de CL > caractéristiques → augmenter les purges

C'est l'élément le plus défavorable, soit le TAC, soit les CL, qui détermine les purges

PH (POTENTIEL HYDROGENE)

PH > 8,5

Ce résultat sera obtenu par addition de produits de conditionnement alcalinisant

PHOSPHATES (P2 O5)

Il est nécessaire de maintenir en chaudière une teneur résiduelle de phosphates de 20 à 50 mg/l

Si cette teneur est inférieure à 20 mg/l →

augmenter le dosage du produit de conditionnement

SULFITES (SO3)

Il est impératif de maintenir en chaudière une teneur minimum résiduelle de sulfites de 20 mg/l

Si cette teneur est < à 20 mg/l : → Augmenter le dosage du produit de conditionnement

HYDRAZINE (N₂ H₄)

L'hydrazine peut être utilisée à la place du sulfite. Un excès de 0,5 mg/l est à maintenir en eau de chaudière.

Si cette teneur est inférieure à 0,3 mg/l → augmenter le dosage du produit de conditionnement

PH RETOURS CONDENSATS

Le dosage est suffisant lorsque le PH des condensats se maintient supérieur à 8,3 (Virage phénol phtaléine)

Si $PH < 8,3$ → augmenter le dosage des produits de conditionnement.

ii.TP2 *Purges de déconcentration*

II.1. Objectif(s) visé(s) :

- *Comment calculer les purges de déconcentration.*

II.2. Durée du TP:

2 heures

II.3. Matériel (Équipement et matière d'œuvre) par équipe :

a) Equipement :

- *Schéma d'un cycle de l'eau dans une chaufferie*
- *Rétroprojecteur*

b) Matière d'œuvre :

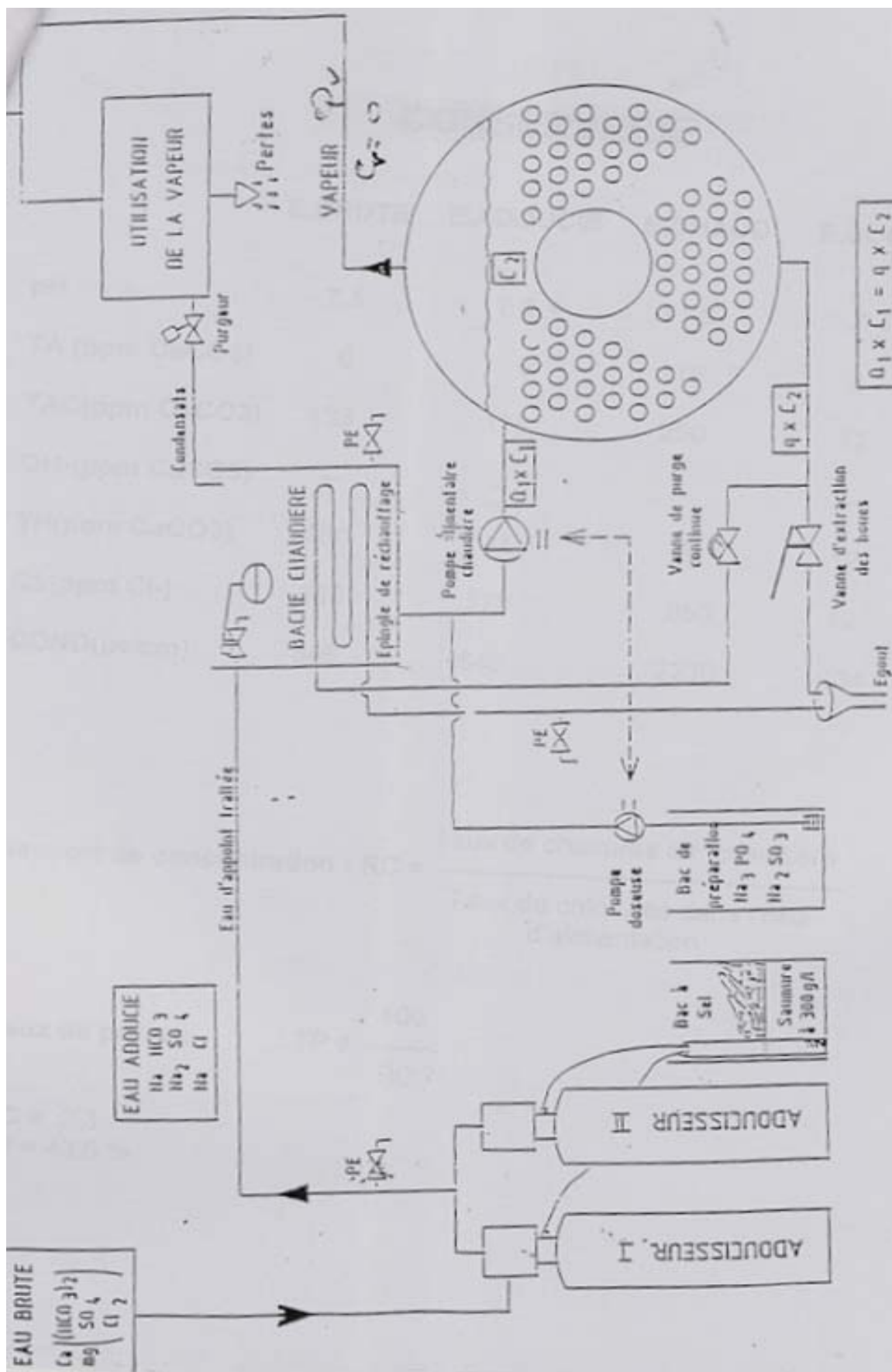
- *Papier*
- *Transparents*
- *Stylos pour transparents*

II.4. Description du TP :

Il s'agit d'étudier le schéma d'un cycle de l'eau dans une chaufferie, démontrer la relation pour le calcul des purges et finalement appliquer cette relation dans le cas d'une chaudière donnée.

II.5. Déroulement du TP

- *Distribuer des copies du schéma aux stagiaires.*
- *Après étude du schéma, laisser les stagiaires réfléchir pour trouver le taux de purges dans le cas de l'exemple donné.*



CALCUL DES PURGES A EFFECTUER

FORMULE suivant valeur du TAC ou CL- à respecter en eau de chaudière.
(c'est la valeur la plus grande (TAC ou CL-) qui est prise en compte dans la formule).

$$\frac{100 \times \text{TAC eau alimentation}}{100 - \text{TAC eau alimentation}} = \% \text{ de l'eau purgée}$$

Bien tenir compte des condensats et du conditionnement

Exemple : chaudière 5 T/H – 10 Bars

TAC 100 en chaudière – TAC-20 en eau douce Retours 50 C – TAC Bâche 10

$$\frac{100 \times 10}{100 - 10} = 11 \% \text{ de 5 T/H} \quad \text{soit 550 litres/heure}$$

EVALUATION DU COUT DE CES PURGES

T de l'eau à 10 bars	: 179
T de la bâche	: 50
T de l'eau à purger	: 179 – 50 = 129

Calories à purger : $550 \times 129 = 70.950 \text{ cal/h}$

Quantité fuel perdu : P.C.M du fuel: 9500 cal/Kg

$$70.950 / 9.500 = 7,5 \text{ Kg /h}$$

10 h jour	75 kg/jour
5 jours	375 kg/semaine
47 semaines	17 T 625/année

III. TP 3 : Titre hydrométrique**III.1. Objectif(s) visé(s) :**

- Apprendre à faire la mesure de TH par la méthode au complexion.

III.2. Durée du TP:

2 heures

III.3. Matériel (Équipement et matière d'œuvre) par équipe :**a) Equipement :**

- Burette graduée en degrés
- Flacon gradué

b) Matière d'œuvre :

- Indicateur N.E.T
- Liqueur complexométrique N/25
- Tampon k10
- Echantillon d'eau

III.4. Description du TP :

Il s'agit de mesurer le TH d'une eau donnée en utilisant une méthode volumétrique à savoir la burette graduée avec les produits nécessaires à l'analyse.

III.5. Déroulement du TP

Remplir la burette de liqueur complexométrique jusqu'au trait zéro

Dans 100 ml d'eau à analyser, ajouter 30 gouttes de tampon k10 et 10 gouttes d'indicateur N.E.T verser goutte à goutte la liqueur complexométrique jusqu'au virage du rouge vineux au bleu franc. On lit directement sur la burette le TH en °F. Si ce titre dépasse 30°F, prélever seulement 50 (ou 25) ml d'eau à analyser. Effectuer l'analyse comme ci-dessus et multiplier le résultat obtenu par 2 ou (4).

IV. TP 4 : Titre alcali métrique**IV.1. Objectif(s) visé(s) :**

- Effectuer la mesure de TA et TAC.

IV.2. Durée du TP:

2 heures

IV.3. Matériel (Équipement et matière d'œuvre) par équipe :**a) Equipement :**

- Burette graduée en degrés
- Flacon gradué

b) Matière d'œuvre :

- Liqueur alcali métrique N/25
- Phénol phtaléine
- Hélianthine (méthylorange)

IV.4. Description du TP :

Il faut effectuer la mesure de TA et TAC d'un échantillon donnée en utilisant une méthode volumétrique

IV.5. Déroulement du TP

Remplir la burette de liqueur alcali métrique jusqu'au trait zéro

Dans 100 ml d'eau à analyser, verser 3 gouttes de phénol phtaléine /TA, puis avec la burette et goutte à goutte, jusqu'au rose à l'incolore. on lit directement sur la burette le titre TA en °F . Si la solution reste incolore après addition de la phénol phtaléine, le TA est nul. (c'est le cas général pour les eaux naturelles dont le PH est inférieur à 8,3). Ajouter ensuite 5 gouttes d'hélianthine dans la solution. Le TAC se lit directement sur la burette au moment du nouveau virage.

N.B : *Le virage du jaune à l'orangé étant souvent assez délicat à apprécier, il est conseillé de préparer au préalable un flacon témoin rempli d'eau à analyser additionnée du même nombre de gouttes d'hélianthine.*

V. TP 5 : Titre Chlorures**V.1. Objectif(s) visé(s) :**

- Effectuer l'analyse des chlorures.

V.2. Durée du TP:

2 heures

V.3. Matériel (Équipement et matière d'œuvre) par équipe :**a) Equipement :**

- Burette graduée en degrés
- Flacon gradué

b) Matière d'œuvre :

- Acide oxalique
- Chromate de potassium 10%
- Nitrate d'argent N/25
- Phénol phtaléine /TA
- Eau déminéralisée

V.4. Description du TP :

Il faut effectuer la mesure des chlorures d'un échantillon donnée, en utilisant une méthode volumétrique.

V.5. Déroulement du TP

Remplir la burette de nitrate d'argent jusqu'au trait zéro

Dans 100 ml d'eau à analyser, verser 3 gouttes de phénol phtaléine /TA. Si l'eau devient rose, ajouter goutte à goutte de l'acide oxalique jusqu'à décoloration. Ajouter ensuite 4 gouttes de chromate de potassium, puis, avec la burette et goutte à goutte, du nitrate d'argent, jusqu'à coloration rouge brique. Soit A le nombre de degrés de nitrate d'argent utilisé. Remette la burette à zéro et effectuer la même opération sur de l'eau déminéralisée (essai à blanc). Soit B le nombre de degrés de nitrate d'argent utilisé. La concentration en °F est égale à A-B. Le nombre de degrés français de chlorures multiplié par 7,1 donne la concentration en ions chlorures exprimée en mg/l.

Evaluation de fin de module

- 1°) Décrire le cycle naturel de l'eau ?*
- 2°) Quelles sont les propriétés physico-chimiques de l'eau ?*
- 3°) Quels sont les principaux titres d'une eau ?*
- 4°) Quels sont les principaux éléments générateurs de tartres ?*
- 5°) Quels sont les moyens de lutte contre les corrosions ?*
- 6°) Décrire le fonctionnement d'un adoucisseur à permutation sodique ?*
- 7°) Faites une comparaison entre la déminéralisation totale et l'osmose inverse ?*
- 8°) Donner les 7 classes des produits de conditionnement ?*

Liste des références bibliographiques.

Ouvrage	Auteur	Edition
<i>Traitement des eaux</i>	<i>F.BERNE J. CORDONNIER</i>	
<i>Traitement et conditionnement des eaux de chaudières</i>	<i>Séminaire ISGTF</i>	
<i>Analyse et traitement des eaux</i>	<i>AFPA</i>	
<i>Le comparateur pour analyses colorimétriques</i>		
<i>Traitement des eaux</i>	<i>Module OFPPT</i>	