

**UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA -
FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES
Département Génie Civil et Hydraulique.**



Mémoire du projet de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme

Master 2 : En Hydraulique urbain

Option : Génie de l'eau

Etudié par : BEDDIAF HADJER

THEME

*La Qualité Des Eaux Sur Les Conduites De
Réseau d'AEP De les régions (HMD-Tougourt)*

Soutenu le :

14/06/2014

Membres de jury :

Mr. SEGGAI SOFIANE	MAA	Président	U.K.M Ouargl
Mme. BELMAABDI AMEL	MAA	Examineur	U.K.M Ouargla
Mr. MAHI RACHID	MAA	Promoteur	U.K.M Ouargla
Melle. ONOKI SAMIRA	MCB	Co-promoteur	U.K.M Ouargla

Année Universitaire : 2013/2014

REMERCIEMENT

*Tous d'abord, je remercie **LE BON DIEU** qui je accorder la connaissance de la science et de j'avoir donné le courage et la volonté afin de réaliser ce modeste travail.*

*je tenais tout d'abord à remercier monsieur **M. Mahi Rachid**, mon promoteur, qui j'a prêter une attention particulière et qui à aucun moment n'a ménagé son effort et son savoir pour j'apporter de l'aide, la plus précieuse.*

*Par la même occasion, je remercie l'ensemble de laboratoire d'ADE : **Belouadeh chahinaze, Reham Nadjah, Douadi Sabah, Boukhriss Khadidja**, et chef de labo : « **Chibani Aicha** »*

*Je remercier **Onoki Samira** qui ma donnée les conseils pour mon projet .*

Enfin je adresser les remerciements aux toutes personnes qui ont contribué de prés ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à tout

Merci pour tout

A decorative border of pearls and roses surrounds the text. The top and bottom edges feature a row of large pearls, with smaller pearls interspersed between them. On the left side, there are several white and red roses with green leaves and buds. On the right side, there are more white roses with green leaves and buds.

DIDICACE

C'est avec toute m'affection que

Je dédie ce modeste travail :

*A celui qui m'a donné vie et qui m'a apporté sans
cesse, sa considération, son intérêt, mon père, **Abdelkerim.***

*A Ma très chère mère, **Tounes,** qui m'a soutenu toujours par
son amour, sa compréhension et son encouragement,
trouve, ici l'expression de ma vive reconnaissance.*

*Mon très cher frère : **Yazid***

*Mes très chères sœurs : **Amel, Loubna, Randa***

*Ma familles : **Oncles Rachid et Med larbi, Houcine
(PaPi). Habiba, Wahida, Naima, Farida, Fatima,***

*Mes Cousines : **Feriel, Manel, Rayen, Amina, Soumia,
Oumaima, Rahma***

*Mes Cousins : **Monder, Tamer, Adem, Amine,
Med Sheriff,***

*Mes amies : **Farida, Wahiba, Asma, Bahia,***

Hadjer.

LISTE DES FIGURES

Titre	N° de page
Figure N°01: Principaux types de nappes	04
Figure N°02: Conséquence de l'entartrage	21
Figure N°03: Relations entre les divers ions présents dans l'eau	24
Figure N°04: Solubilité apparente du carbonate de calcium en fonction du pH.	28
Figure N°05: Représentation schématique des échanges de matière aux interfaces et des réactions en phase liquide.	39
Figure N°06: Représentation schématique des étapes cinétiques de l'évolution du système calco-carbonique.	34
Figure N°07: Schéma développé de toutes les étapes cinétiques de l'évolution du système calco-carbonique.	36
Figure N°08: Exemple de corrosion électrochimique	38
Figure N°09: Corrosion uniforme d'un tube en acier	39
Figure N°10: Corrosion par piqûres	40
Figure N°11: Corrosion galvanique	40
Figure N°12: Corrosion sélective	41
Figure N°13: Corrosion sous contrainte	41
Figure N°14: Influence du pH sur la vitesse de corrosion	44
Figure N°15: Courbes de polarisation.	45
Figure N°16: Courbe non corrosive	46
Figure N°17: Courbe corrosive	46
Figure 18: Le pH mètre	53
Figure N°19: La conductivité mètre.	55
Figure 20: spectrophotomètre à flamme	63
Figure 21: Spectrophotomètre Dr 2800	65

Liste des tableaux

Titre	N° de page
Tableau N° 01 : Coordonnées de la station météorologique de la station de Touggourt	02
Tableau N°02 : L'impact de la température au poids volumique	06
Tableau N°03: L'impact de la température à la densité	06
Tableau N°04: L'impact de la température a la viscosité dynamique	06
Tableau N°05 : L'impact de la salinité à la viscosité	07
Tableau N°06 : La relation entre la conductivité et la minéralisation des eaux naturelles	08
Tableau N°07: Classification de la nature de l'eau suivant la dureté	11
Tableau N°08: Les concentrations admissibles dans l'eau potable	14
Tableau N°09: Les normes de l'eau potable suivant l'OMS et CEE	16
Tableau N°10 : Les normes Algériennes de l'eau potable	17
Tableau N°11: Données thermique de WEBER et COL concernant les transferts des chaleurs à travers les tartes	22
Tableau N°12: Concentration des différents anions en fonction des valeurs respectives du TA et TAC	25
Tableau N°13: Les paramètres de Langelier	26
Tableau N°14: L'indice de Ryznard et les caractères des eaux	27
Tableau N°15: Solubilité des différentes variétés de carbonate de calcium dans l'eau	29
Tableau N°16: Potentiel normaux-Réduction	43
Tableau N°17: Résistance de quelques métaux	48
Tableau N°18: Récapitulatif des effets inhibiteurs des différents composés de phosphore	50
Tableau N°19: Caractéristiques des forages 19 et 21	67
Tableau N°20: Les équipements des forages 19 et 21	68
Tableau N°21: mesure de pH et CE et turbidité	68
Tableau N°22: mesure de Cl ⁻	68
Tableau N°23: Mesure de calcium Ca ²⁺	68
Tableau N°24: Mesure de dureté	69
Tableau N°25: Mesure de magnésium Mg ²⁺	69
Tableau N°26: Mesure de TAC.	69
Tableau N°27 : Mesure de sodium Na ⁺ et de potassium K ⁺	69
Tableau N°28: Mesure de sulfate SO ₄ ²⁻	70
Tableau N°29: Comparaison entre les normes Algériennes et les résultats d'analyses des eaux de réseau de forage 19	70
Tableau N°30: Comparaison entre les normes Algériennes et les résultats d'analyses des eaux de château d'eau de forage 21	71
Tableau N°31: Comparaison entre les normes Algériennes et les résultats d'analyse des eaux de réseau de forage 21.	71
Tableau N°32: Mesure de PH et CE et Turbidité	73

Tableau N°33: Mesure de Cl ⁻	73
Tableau N°34: Mesure de Ca ²⁺	73
Tableau N°35: Mesure de dureté	74
Tableau N°36: Mesure de magnésium Mg ²⁺	74
Tableau N°37: Mesure de TAC.	74
Tableau N°38: Mesure de Na ⁺ et de K ⁺	74
Tableau N°39: Mesure de SO ₄ ²⁻	75
Tableau N°40: Comparaison entre les normes Algériennes et les résultats d'analyses des eaux de Forage Sidi Mahdi N° 3.	75
Tableau N°41: Comparaison entre les normes Algériennes et les analyses des eaux de réseau Temacine TGT.	76
Tableau N°42: Comparaison entre les normes Algérienne et les analyses des eaux de forage Albien Ain Sahara 2 TGT.	76

Sommaires

Introduction Générale	
<u>Chapitre 1 : Présentation des régions d'étude (HMD-Touggourt)</u>	
I. Introduction	01
II. La ville de Hassi Messaoud	01
III. La ville de Touggourt	01
1/ Présentation de la cuvette de Touggourt	01
2/ La géothermie	02
3/ Le bilan hydrique	02
4/ Température	02
5/ L'évaporation	02
IV. L'étude hydrogéologique	
1/ La nappe phréatique	03
2/ La nappe Mio-Pliocène	03
3/ La nappe sénonien	03
4/ La nappe Albienne	03
<u>Chapitre 2: Qualité des eaux</u>	
I. Introduction	05
II. Indicateurs de qualité des eaux naturelles	05
1/ Paramètres organoleptiques	05
1.1/ Couleur	05
1.2/ Goût et Odeur	05
1.3/ Turbidité	06
1.4/ Matières suspension (MES)	06
2/ Paramètres physicochimiques	06
2.1/ Le poids volumique	06
2.2/ La densité	06
2.3/ La viscosité dynamique	06
2.4/ Température	07
2.5/ Potentiel d'hydrogène	07
2.6/ Minéralisation totale	07
2.7/ Alcalinité	08
2.8/ La dureté	09
2.8.1/ Les principaux éléments responsables de la dureté	09
2.8.2/ Différents types de dureté	10
2.9/ Matières organiques	11
2.10/ Eléments minéraux	11
2.10.1/ Eléments minéraux fondamentaux	11
2.10.2/ Elément minéraux indésirables	11

2.10.3/ Elément toxiques	13
2.11/ L'équilibre calco-carbonique	13
2.12/ L'équilibre ionique	13
3/ Paramètres biologiques	13
3.1/ Infection bactériennes	14
3.2/ Infection virales	14
3.3/ Infection parasitaires	14
III. Les normes et recommandations	
1/ Les normes de l'eau potable	15
1.1/ Notions générales	15
1.2/ Les normes internationales de l'eau potable	15
1.3/ Les normes Algériennes de l'eau potable	17

Chapitre 3 : Les phénomènes d'Entartrage et de Corrosion

I. <u>Phénomène d'entartrage</u>	
1/ Introduction	20
2/ Définition de l'entartrage	20
3/ Conséquences de l'entartrage	21
3.1/ Conséquences hydrauliques	21
3.2/ Conséquences bactériologiques	21
3.3/ conséquences technologiques	21
3.4/ Conséquence thermiques et énergétique	22
4/ L'entartrage et la dureté de l'eau	23
4.1/ La dureté de l'eau	23
4.2/ l'entartrage et titre alcalimétrique (TA et TAC)	24
4.3/ Entartrage et le titre hydrométriques (TH)	26
4.4/ Les indices d'entartrage	26
5/ Paramètres de l'entartrage	27
5.1/ La présence de calcaire dans l'eau	27
5.2/ La température de l'eau	27
5.3/ La présence dans l'eau d'élément favorisants	28
5.4/ L'influence de la nature de la canalisation	28
6/ Présentation du carbonate et calcium	28
7/ Différents types de tartre	30
7.1/ Tartre alcaline	30
7.2/ Tartre non alcaline	30
7.3/ Autre types des tartres	31
8/ Les procédés entre tartre	31
8.1/ Les procédés chimiques	31
8.1.1/ La décarbonations acide	31
8.1.2/ La décarbonations à la chaux ou à la soude	31
9/ Mécanisme de l'entartrage	32
9.1/ Le système calco-carbonique	32
II. <u>Phénomène de corrosion</u>	
1/ Introduction	37
2/ Définition de la corrosion	37
3/ Types de corrosion	37

3.1/ Corrosion chimique	38
3.2/ Corrosion électrochimique	38
3.3/ Corrosion biochimique (bactérienne)	39
4/ Les différentes formes de corrosion	39
4.1/ Corrosion généralisée ou uniforme	39
4.2/ Corrosion sous tension	39
4.3/ Corrosion par piqûres	39
4.4/ Corrosion galvanique	40
4.5/ Corrosion sélective	40
4.6/ Corrosion – érosion	41
4.7/ Corrosion sous contrainte	41
4.8/ Corrosion inter granulaire	41
4.9/ Corrosion cavitation	41
4.10/ Corrosion électrochimique	42
5/ Les facteurs influant sur la vitesse de corrosion	44
5.1/ Influence du PH	44
5.2/ Effet de la température	44
5.3/ Influence de la teneur en CO ₂	44
6/ Cinétiques de la corrosion	44
6.1/ La polarisation	44
6.2/ Transfert de masse	45
6.3/ Transfert de charge	45
6.4/ La migration	45
6.5/ Courbe de polarisation	45
6.6/ Condition principale pour corrosion d'un métal	45
7/ Lutte contre corrosion	46
7.1/ Protection passives	46
7.1.1/ Isolement électrique	46
7.1.2/ Revêtement minces	46
7.1.3/ Revêtement épais	46
7.1.4/ Revêtement par bande plastique	47
7.2/ Protection actives	47
7.2.1/ Soutirage de courant	47
7.2.2/ Drainage de courant	47
7.3/ Protection cathodique	47
7.3.1/ Principe de la protection cathodique	47
7.3.2/ Protection par anode sacrificielles	47
8/ Les méthodes de protection contre la corrosion	47
8.1/ Prévention par une forme adaptée des pièces	48
8.2/ Prévention par le choix des matériaux	48
8.3/ Protection par les revêtements	48
8.3.1/ Revêtement métalliques	48
8.3.2/ Revêtement chimiques	48
8.3.3/ Revêtement organique	48
9/ Inhibiteurs de corrosion	49
9.1/ Définition	49

9.1.1/ Premier type	49
9.1.2/ Deuxième type	49
9.1.3/ Troisième type	49
9.2/ La protection par les inhibiteurs	49
9.2.1/ Les inhibiteurs anodique	49
9.2.2/ Les inhibiteurs cathodique	50
9.2.3/ Les inhibiteurs mixtes	50
9.3/ Classification des différents familles d'inhibiteurs	50
9.3.1/ Les organo-phosphate	50
9.3.2/ Les conduites condensées	50

Chapitre 4: prélèvement des échantillons et méthodologies appliquées

I. Introduction	53
II. Techniques des mesures	53
1/ Les paramètres physiques	53
1.1/ Mesure d'électro métrique du pH avec l'électrode	53
1.2/ Mesure de la conductivité électrique	54
2/ Les Paramètres Chimiques	56
2.1/ Détermination des chlorures (Cl ⁻)	56
2.2/ Détermination Du calcium (Ca ²⁺) et du magnésium (Mg ²⁺) et la dureté (TH)	58
2.3/ Détermination de l'alcalinité (HCO ₃ ⁻)	60
3/ les paramètres de spectrophotomètres a flamme	62
3.1/ Dosage de sodium et de potassium par photométrie de la flamme	62
4/ Paramètres de pollution	64
4.1/Détermination des sulfates SO ₄ ²⁻	64

Chapitre 5: Partie expérimentales

I. Introduction	67
<u>1/ Zone (1):</u> Hassi Messaoud	67
1.1/ Les forages exploitées	67
1.1.1/ Les caractéristiques des forages 19 et 21	67
1.1.2/ Les équipements des forages 19 et 21	67
1.2/ Les paramètre physiques	68
1.2.1/ Mesure de PH, CE et Turbidité	68
1.3/ Les paramètre chimiques	68
1.3.1/ Mesure de Chlorure	68
1.3.2/ Mesure de calcium	68
1.3.3/ Mesure de dureté	68
1.3.4/ Mesure de Magnésium	69
1.3.5/ Mesure de l'alcalinité de l'eau	69
1.3.6/ Mesure de potassium et de sodium	69
1.4/ Paramètre de pollution	69
1.4.1/ Mesure de sulfate	69
Comparaison	70
1.1/ Les normes Algérienne	70
L'interprétation	72
Recommandations	72
<u>.2/ Zone (2):</u> Touggourt	73

2.1/ Les paramètre physiques	73
2.2/ Les paramètre chimiques	73
2.2.1/ Mesure de Chlorure	73
2.2.2/ Mesure de calcium	73
2.2.3/ Mesure de dureté	74
2.2.4/ Mesure de Magnésium	74
2.2.5/ Mesure de l'alcalinité de l'eau	74
2.2.6/ Mesure de potassium et de sodium	74
2.3/ Paramètre de pollution	75
2.3.1/ Mesure de sulfate	75
Comparaison	75
2.1/ Les normes Algérienne	75
L'interprétation	76
Recommandation	77
1/ L'adoucissement électrochimique	77
Conclusion générale	

Introduction

Générale

Introduction générale

Sur le plan mondial, l'eau (ou bleu) est la matière la plus importante pour l'existence d'êtres vivants. Elle est indispensable de bonne qualité pour la survie et le bien être de lui.

Toutefois, elle est sur la terre soit trop salée, soit située dans des régions inaccessibles pour procurer de l'eau douce, en particulier dans les zones sèches, et faire face ainsi à la pénurie d'eau par de nouvelles techniques et une de ces techniques prometteuses, pour certains pays est le dessalement de l'eau de mer ou des saumâtres.

L'appréciation de la qualité des eaux de surface est basée sur la mesure de paramètres physico-chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatique.

Le but de ce travail, est de réaliser des études expérimentales pour connaître la qualité des eaux potables des régions d'études et leurs impacts sur les conduites de transport des eaux et les interprétations nécessaires est les solutions proposées.

Ce projet d'étude à été établis selon le plan de travail suivant :

Introduction générale.

Chapitre 1 : présentation des régions d'études (HMD – Touggourt).

Chapitre 2 : Qualité des eaux.

Chapitre 3 : Les phénomènes de l'Entartrage et de Corrosion.

Chapitre 4 : Prélèvement des échantillons et méthodologies pratiquées.

Chapitre 5 : Partie expérimentales.

Conclusion générale.

***Chapitre (1):
présentation des
régions d'études
(HMD-Touggourt)***

I. Introduction :

Dans ce chapitre, on présentera les régions d'étude (HMD, Touggourt) qui vont être les zones de prélèvement des eaux potables pour les différentes études expérimentales réalisés au niveau du laboratoire.

II. La ville de Hassi Messaoud :

Hassi Messaoud est une commune de la Wilaya d'Ouargla, située à 86 Km au sud-est d'Ouargla ; à 172 Km au sud de Touggourt et à 800 Km au sud-est de la capitale Alger. La ville est largement tournée vers l'exploitation du gisement de pétrole. La ville s'étend sur 71237 Km² et compte 45147 habitants depuis le dernier recensement de la population. La densité de population est de 0,6 habitants par Km² sur la villa.

Située à 150 mètres d'altitude, la ville de Hassi Messaoud a pour coordonnées géographiques Latitude est 31° 40' 57'' Nord, et longitude est 6° 4' 21'' Est. Climat de Hassi Messaoud est climat désertique sec et chaud.

III. La ville de Touggourt :

1/ Présentation de la cuvette de Touggourt:

Située au Sud-est de l'Algérie (33° 07'N, 6°04'E, altitude ; 70 m), la cuvette de Touggourt appartient à l'étage bioclimatique hyper aride a été très chaude (> 40°C au mois de juillet) et une pluviométrie très faible et irrégulière (< 67 mm/an). Les eaux souterraines sont la principale source d'approvisionnement en eau potable et de l'irrigation de la cuvette. Les 14,2 millions de mètres cubes distribués annuellement à Touggourt, sont pompées de la nappe du continentale intercalaire «dite Albien», située à des profondeurs comprises entre 1758 et 1799 m. Cette dernière provoque une forte charge (pression) de la nappe sur tout le bassin oriental et une température de l'eau à la tête des puits jaillissants comprise entre 55 et 60°C.

La nappe est d'une superficie de 600 000 Km², couvrant tout le bassin sédimentaire du Sahara septentrional. Sa capacité réservoir est évalué à 50 000 milliards de mètres cubes mais, difficilement renouvelable [DAHMANI]. Le temps de renouvellement est

estimé à 70 000 ans. Géologiquement, l'aquifère est contenu dans des formations sablo-gréseuse et argilo-sableuse accumulées dans des niveaux d'âge variable selon les endroits. Le substratum est constitué des formations argilo-sableuses et argileuses, ou carbonatées d'âge de plus en plus récent du Sud vers le Nord.

2/ La géothermie:

La géothermie permet de produire de l'énergie en utilisant la chaleur interne de la terre. Lorsque la température est supérieure à 150°C, on parle de géothermie à haute énergie.

Les eaux souterraines dont l'origine est liée au cycle de l'eau s'appellent va doses. On les différencie des eaux juvéniles, eaux d'origine profondes provenant du refroidissement du magma granitique. L'importance de ces derniers est négligeable face aux eaux va doses. Les eaux fossiles sont des eaux datant d'une période plus humide du quaternaire, par exemple dans le Sahara. On appelle eaux connues des eaux salées datant de l'époque de formation des sédiments. Les eaux géothermales sont généralement des eaux va doses se réchauffant en profondeur.

3/ Le bilan hydrique :

Le bilan hydrique est établi pour un lieu et une période donnés par comparaison entre les apports et les pertes en eau dans ce lieu et pour cette période. Il tient aussi compte de la constitution de réserves et des prélèvements ultérieurs sur ces réserves. Les apports d'eau sont effectués par les précipitations. Les pertes sont essentiellement dues à la combinaison de l'évaporation et la transpiration des plantes, que l'on désigne sous le terme d'évapotranspiration.

Pour caractériser le climat de la zone d'étude, nous disposons des relevés fournis par la station de Touggourt dont les coordonnées sont mentionnées dans le tableau qui suit..

Tableau N°01: Coordonnées de la station météorologique de la station de Touggourt

Coordonnées	Latitude	Longitude	Altitude
Station de Touggourt	33° 11'	06° 13'	85 m

4/ Température :

La température joue un rôle primordial dans l'évaluation du déficit d'écoulement qui rentre dans l'estimation du bilan hydrique. Dans notre zone d'étude, elle a plus d'ampleur et influe grandement sur les autres paramètres météorologiques tels que l'évaporation et le taux d'humidité de l'atmosphère. Elle est donc un paramètre déterminant dans le calcul du bilan hydrologique.

5/ L'évaporation :

Le phénomène d'évaporation intervient dans le cycle de l'eau au moment où les précipitations atteignent la surface du sol.

IV. L'étude hydrogéologique :

1/ La nappe phréatique :

La nappe est présente partout à l'échelle de la région. Son épaisseur varie de 1 à 8m et repose sur un niveau imperméable étanche, qui occupe tout le fond de la vallée d'Ouargla. Sa frange capillaire surgit souvent sur la surface du sol sous forme de chotts qu'on trouve de part et d'autre de la ville d'Ouargla. Elle est relativement profonde dans les points de haute topographie (Ergs), et moins profonde dans les zones à proximité des palmeraies irriguées.

2/ La nappe Mio-Pliocène :

A une profondeur allant de 20 à 100 mètres, la nappe du Mio-Pliocène est constituée de sables fins à grossiers graveleux, à intercalation de calcaires blancs tendres et marnes sableuses, d'argiles sableuses roses et passées de grès et de gypses.

L'exploitation de cette nappe, remonte à une époque lointaine, par des puits traditionnels. Actuellement, plusieurs centaines de forages creusés sont exploités pour l'irrigation des palmeraies et des cultures sous-jacentes.

3/ La nappe sénonien :

Il est constitué de deux formations lithologiques superposées :

- Le sénonien lagunaire à la base qui est par une constitué par une alternance irrégulière
- de bancs d'anhydrite, de dolomie, d'argile et de sel. Les proportions des ces formation
- varient d'un point à un autre :

↳ L'anhydrite forme des bancs dont l'épaisseur peut atteindre (≈250 m);

- ↳ La dolomie constitue parfois des barres plus importantes (≈ 60 m);
 - ↳ Les niveaux d'argile et de marne ne dépassant généralement par 120 m d'épaisseur;
- Le Sénonien carbonaté au sommet (200 m environ) : Calcaire blanc, tendre à moyennement dure, par fois à vacuolaire et passées de marne gris tendre à pâteuse dolomitique,

4/ La nappe Albienne :

La nappe est située à une profondeur de 1100 à 1400 mètres, avec une épaisseur utile près de 640 mètres, et constituée de grès fins, gris, à ciment argileux, parfois dolomitiques, avec intercalation de marnes dolomitiques et argiles sableuses. La nappe est jaillissante et exploitée par des forages destinés à l'A.E.P.

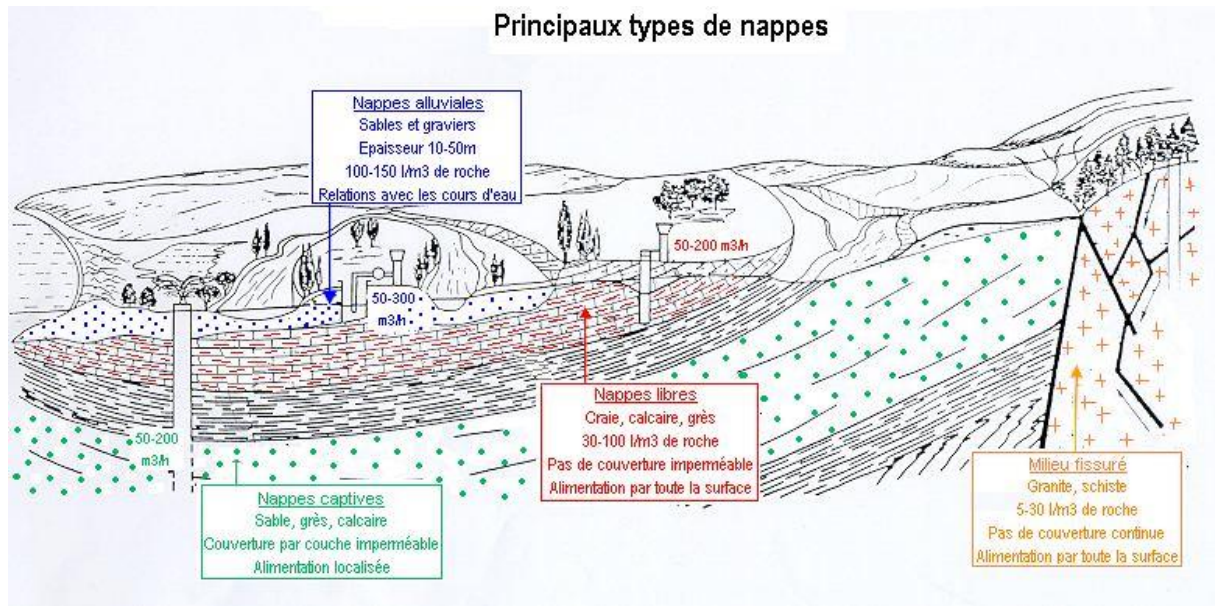


Figure 01: Principaux types de nappes

Chapitre (2):

Qualité des eaux

I. Introduction :

L'eau destinée à la consommation humaine doit donc être adéquate avec les règles générales d'hygiène et à toutes les mesures propres à préserver la santé publique.

L'eau de boisson n'est pas constituée uniquement par des molécules d'eau mais contient des substances de différentes natures. Ainsi, l'eau peut apporter à l'organisme toutes sortes d'éléments : utiles comme les sels de calcium et de magnésium ; néfastes comme les nitrates ; dangereux comme les germes pathogènes qui sont à l'origine des maladies infectieuses véhiculées par l'eau.

II. Indicateurs de qualité des eaux naturelles :

Les eaux naturelles renferment différents paramètres qui caractérisent leur nature physicochimique et biologique.

1/ Paramètres organoleptiques :

Ces paramètres correspondent à l'appréciation de la qualité de l'eau par les sens, essentiellement la vue, le goût et l'odorat. Ils sont importants pour le plaisir du consommateur mais peuvent également, dans certains cas, être en relation avec la qualité hygiénique de l'eau.

1.1/ couleur : la couleur des eaux de surface ou des eaux souterraines, est due, généralement à des substances colorées d'origines variées :

- Substances humiques ou fulviques provenant de la décomposition de la matière végétale ;
- Algues pouvant donner une coloration variable en fonction des pigments qu'elles contiennent ;
- Substances minérales, en particulier le fer et le manganèse dont les formes précipitées sont colorées ;
- Rejets industriels, par exemple de teinturerie, pouvant aussi colorer l'eau.

Bien qu'elle ne présente pas de risque bactériologique, la coloration de l'eau pose surtout un problème d'esthétique entraînant de nombreuses plaintes de consommateurs. De plus, une eau colorée est souvent riche en acides humiques et fulviques qui interfèrent avec le chlore pour former des composés organohalogénés potentiellement dangereux pour la

santé humaine. La couleur d'une eau peut être mesurée par la méthode au platine-cobalt. Une coloration de 5 unités de platine-cobalt est déjà décelée par beaucoup d'utilisateurs.

1.2/ Goût et odeur : Une eau potable de bonne qualité ne doit pas contenir ni goût ni odeur désagréable. Le traitement de l'eau par le chlore est à l'origine de la plupart des problèmes organoleptiques en particulier la saveur. En dehors de la minéralisation, une saveur désagréable peut révéler la présence de molécules indésirables telles que la décomposition des algues, certaines matières plastiques utilisées pour les canalisations. Par contre, les odeurs peuvent provenir soit des produits chimiques soit des matières organiques en décomposition telles que les algues planctoniques.

1.3/ Turbidité : la turbidité est une caractéristique des eaux superficielles, elle est due à la présence des MES fines, comme les argiles, les limons, les grains de silice, les μ -organismes ainsi que les matières colloïdales d'origine minérale ou organique.

On doit éliminer la turbidité de l'eau pour améliorer l'aspect esthétique de l'eau de boisson et permettre une désinfection efficace car les MES peuvent servir de support aux μ -org qui seront ainsi partiellement protégés de l'action des désinfectants. Il semblerait qu'une turbidité supérieure à 5 NTU limiterait la destruction des coliformes même si le chlore résiduel est présent pendant une heure. La turbidité est mesurée à l'aide d'un turbidimètre et elle à trois unités JTU (Jackson Turbidity Unit), FTU (Formazine Turbidity Unit) ou NTU (Nephelometric Turbidity Unit)

1.4/ Matières en suspension : (MES) : La présence des MES dans l'eau provoque sa turbidité. Les MES peuvent se présenter sous trois formes dissoute, dispersée ou colloïdale, elles peuvent être d'origine minérale ou organique. Les MES sont dosées par la méthode gravimétrique en (mg/l) ou en (g/l).

2/ Paramètres physicochimiques:

2.1/Le poids volumique:

Tableau N°02 : l'impact de la température au poids volumique

La température (°C)	0	5	10	15	20	25	30
Le poids volumique	999,9	1000,0	999,7	999,1	998,2	997,1	995,1

2.2/ La densité:

Tableau N°03: l'impact de la température à la densité

La température (°C)	0	4	20	50	110
La densité	0,999	1	0,998	0,989	0,958

2.3/ La viscosité dynamique:

Tableau N°04: L'impact de la température à la viscosité dynamique

La température (°C)	0	4	8	12	16	25
Coefficient de la viscosité (MP ₀ .S)	1,797	1,523	1,301	1,138	1,007	0,423

Tableau N°05: L'impact de la salinité à la viscosité

La salinité (g/l)	0	4	8	12	16	25
Coefficient de la viscosité (MP₀.S)	1,007	1,021	1,035	1,052	1,068	1,085

2.4/ Température:

La température de l'eau joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz. Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10°C.

L'élévation de la température s'accompagne d'une diminution de la densité, d'une réduction de la viscosité, d'une augmentation de la tension de vapeur saturante à la surface et d'une diminution de la solubilité des gaz, en plus cette augmentation de la température favorise l'autoépuration, et accroît la vitesse de sédimentation. La valeur requise pour la température ne dépasse pas 25°C, car les eaux fraîches sont plus agréables que les eaux tièdes.

2.5/ Potentiel d'hydrogène: (PH) :

Le PH sert à quantifier la concentration en ions H⁺ de l'eau qui lui confère son caractère acide ou basique.

Le PH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés et varie habituellement entre 7,2 et 7,6.

Les eaux très calcaires ont un PH élevé et celles provenant de terrains pauvres en calcaire ou siliceux ont un PH faible, de l'ordre de 7 et parfois un peut inférieur. Les normes internationales concernant le pH sont assez larges avec des valeurs admissibles de 6,5 à 9,5.

Le contrôle du pH permettra de maintenir une eau à l'équilibre (ni agressive ni incrustante). Il est important également au cours du traitement de l'eau (l'étape de coagulation/floculation, désinfection et traitement de correcteur (abaissement ou élévation du pH)).

En pratique, le contrôle en continu du pH sur une usine de traitement d'eau potable se réalise en trois points :

- Sur l'eau brute pour déterminer le besoin et le taux de traitement ;
- Sur l'eau floculée, décantée ou filtrée, pour contrôler le pH de floculation, de désinfection et la mise à l'équilibre calco-carbonique et de régler celui de neutralisation ;
- Sur l'eau en sortie de l'usine pour vérifier l'efficacité du traitement.

2.6/ Minéralisation totale:

La minéralisation totale d'une eau correspond à l'ensemble des sels minéraux existants dans ce milieu. On peut l'évaluer par la mesure de divers paramètres tels que :

A/ La conductivité électrique : La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution. Dans le contrôle de l'eau potable, la détermination en continu de cette mesure permet de détecter des variations de composition ionique de l'eau pouvant traduire des arrivées d'eaux parasites. Le tableau ci-dessous donne une relation entre la conductivité et la minéralisation des eaux naturelles.

Tableau N°06: la relation entre la conductivité et la minéralisation des eaux naturelles.

Conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation de l'eau
$\text{CE} < 100 \mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation très faible
$100 < \text{CE} < 200 \mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation faible
$200 < \text{CE} < 333 \mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation moyenne
$333 < \text{CE} < 666 \mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation moyenne accentuée
$666 < \text{CE} < 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation importante
$\text{CE} > 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation élevée

En traitement conventionnels d'eau potable, il n'existe pas de procédé de modification de la conductivité. Par contre, en production d'eau industrielle ou en dessalement des eaux de mers ou des eaux saumâtres, l'élimination des ions ne se fera pas des traitements d'échange ionique ou de séparation membranaire.

B/ La mesure de résidu sec : Cette mesure correspond à la détermination des concentrations de MES par la méthode volumétrique. Il consiste à mesurer le résidu sec après évaporation à 105°C (ou à 180°C) et à 525°C (ou à 550) de l'eau filtrée.

MES totale (105°C) = R.S non eau filtrée – R.S eau filtrée

MES org = R.S (105°C) – R.S (550°C)

C/ La mesure de la salinité

D/ La mesure du taux de sels.

2.7/ Alcalinité:

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité de réagir avec les ions H⁺ qui est due à la présence des constituants alcalins HCO₃⁻, CO₃²⁻, OH⁻. On distingue deux types d'alcalinité:

- Alcalinité totale (ou titre alcalimétrique totale complet)

$$TAC = [OH^-] + [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]$$

- Alcalinité composite (ou titre alcalimétrique)

$$TA = [OH^-] + (1/2) [CO_3^{2-}]$$

Le TA est déterminé par neutralisation avec un acide fort (H₂SO₄) en présence d'un indicateur coloré (phénophtaléine, coloration rose après titrage devient incolore).

* pH < 8,3 alors le TA = 0; TAC = [HCO₃⁻]

* pH > 8,3 alors le TA ≠ 0

De la même façon que TA, le TAC est déterminé par neutralisation de tout l'alcalinité avec un acide fort en présence d'hélianthine coloration rouge.

Pour les eaux naturelles non polluées, le pH est toujours inférieur à 8,3 ce qui implique que l'acidité forte est nulle (TA = 0), l'acidité faible est représentée par le CO₂.

Il n'existe pas de normes européennes ni françaises concernant l'alcalinité est un paramètre important car sa valeur peut donner à l'eau un caractère agressif ou incrustant.

2.8/ Dureté:

On appelle dureté ou titre hydrotimétrique (TH) la somme des ions alcalino-terreux présente dans une eau. En pratique, on ne considère que les cations dont les concentrations sont supérieures à 1 mg/l.

2.8.1/ Les principaux éléments responsables de la dureté: La dureté d'une eau est due à la présence des ions métalliques bivalents, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Sr^{2+} . Les plus abondants étant les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} .

Les ions Fe^{2+} , Mn^{2+} et Sr^{2+} sont facilement oxydables et leurs impacts sur la dureté sont négligeables.

• **Le calcium** est un métal alcalino-terreux très répandu dans la nature. Les eaux potables de bonne qualité ayant des teneurs en calcium comprennent entre 100 et 140 mg/l. La directive de l'OMS recommande pour sa limite supérieure une teneur de 200 mg/l.

• **Le magnésium** est un des éléments aussi très répandus dans la nature, il constitue environ 2,5% dans l'écorce terrestre. La directive de la communauté européenne recommande un niveau guide de 30 mg/l et l'OMS recommande pour sa limite supérieure une teneur de 85 mg/l.

Les eaux de surface peuvent contenir jusqu'à 1,5 mg/l de fer qui peut avoir pour origine la lixiviation des terrains traversés, ou les pollutions industrielles; dans les eaux de distribution, il provient le plus souvent de la corrosion des conduites d'aménées. Le fer peut se rencontrer jusqu'à 10 mg/l dans les eaux de sondage **[ROLAND.V]**.

En pratique on considère souvent que la dureté totale d'une eau de consommation est égale à la somme de sa dureté calcique et la dureté magnésienne:

$$\text{TH} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$$

2.8.2/ Différents types de dureté: On distingue différents types de dureté :

➤ **Dureté totale:** La dureté totale englobe la teneur en sels de calcium et de magnésium présent dans l'eau, elle est exprimée en degrés Français °F et est égale à la somme de dureté temporaire et dureté permanente. **[M. Mehaoua ; N. Ahmadi]**

$$[\text{TH}] \text{ méq/l ou } \text{F}^\circ = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$$

↳ **Dureté permanente ou non carbonatée:** C'est celle qui subsiste après l'ébullition de l'eau dans les conditions standardisées ; on l'appelle dureté permanente ou dureté non carbonatée ; elle correspond aux chlorures et aux sulfates de calcium et de magnésium.

[M. Mehaoua ; N. Ahmadi]

$$TH_p = TH - TAC, \text{ si } TH > TAC$$

↳ **Dureté temporaire:** C'est celle qui disparaît après l'ébullition, il correspond aux carbonates et bicarbonates de calcium et de magnésium ; on l'appelle dureté temporaire ou dureté carbonatée. [M. Mehaoua ; N. Ahmadi]

$$TH_{temp} = TH - TH_p. \text{ Si } TH < TH_p$$

Une eau dure présente de nombreux inconvénients dans l'usage domestique telle l'augmentation des quantités de savon, la formation des tartres à partir de 55°C, l'accroissement du temps de cuisson des légumes.

Une eau trop douce est une eau corrosive. Elle attaque les parois des canalisations d'eau et contribue à la dégradation de la qualité de l'eau à la suite de la dissolution de métaux lourds tels que le plomb. De point de vue gustatif, il semblait qu'une eau de 30°F serait plus agréable à boire.

La dureté ne doit pas être considérée isolément, mais dans un ensemble de paramètres tels que le TAC, le pH, la température et la minéralisation totale, de manière à déterminer le caractère de l'eau vis-à-vis de l'équilibre calco-carbonique.

La dureté peut être mesurée par différentes méthodes telles que :

- * Adsorption atomique (mesure de calcium et magnésium).
- * Par complexométrie.
- * Dosage volumétrique avec un réactif E.D.T.A en présence d'un indicateur coloré (Noir eriochrome pour le dosage du TH et le Murexide pour le TH_{ca}).

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

Tableau N°07: classification de la nature de l'eau suivant la dureté.

[F. Berné ; J. Cordonnier]

La nature de l'eau	La dureté
Eau très douce	0 – 6 méq/L
Eau douce	1,5 – 3 méq/L
Eau moyenne	3 – 6 méq/L
Eau dure	6 – 10 méq/L
Eau très dure	Plus que 10 méq/L

2.9/ Matières organiques:

La présence des mesures organiques est une caractéristique des eaux naturelles. Les MO peuvent être d'origine naturelle (décomposition des matières végétales ou animale, ce type de MO sont biodégradables) ou anthropique (hydrocarbures, solvants, pesticides, ces matières sont non biodégradables). Les MO ont une structure chimique complexe et contiennent les éléments suivants C, H, O, N, P, S.

2.10/ Eléments minéraux: On peut distinguer 3 types d'élément minéraux dans les eaux naturelles: élément minéraux fondamentaux, indésirable et toxiques.

2.10.1/ Eléments minéraux fondamentaux: Ces éléments sont nécessaires au corps humain tels que le calcium, magnésium, potassium, chlorures, sulfates, carbonates, bicarbonates. La présence de ces éléments en teneur adéquate avec la norme de potabilisation est indispensable pour que l'eau de boisson garantisse son apport de ces éléments au corps humain.

2.10.2/ Elément minéraux indésirables: Comme les nitrates, nitrites, ammoniac, et les phosphates. La présence de ces éléments est un signe de pollution. Une fois la norme est dépassée, différentes conséquences peuvent être engendrées soit sur le corps humain soit sur l'environnement.

2.10.2.1/ Les nitrates: Les eaux naturelles non polluées contiennent généralement peu de nitrates. Lors du rejet d'azote organique (protéines, acides aminés, usée....), les molécules sont tout d'abord transformées en ammonium (NH_4^+) qui est ensuite oxydé en nitrites puis en nitrates sous l'action de bactéries nitrifiantes. Ces processus d'oxydation, également appelés «nitrification», sont très sensibles à la présence de matières toxiques (métaux, pesticides) et aux températures basses. Dans les eaux naturelles, les

concentrations en nitrates ne dépassent pas 3 mg/l et elles sont de qlq mg/l dans les eaux souterraines. Les nitrates dans le milieu naturel ne sont pas directement toxiques mais participent aux phénomènes d'eutrophisation (prolifération des algues). Pour l'organisme humain, ils ne sont pas toxiques directement (sauf à des doses élevées) mais leurs transformations en nitrites peut provoquer des troubles (maladie bleu) chez les nourrissons. Les limites de qualité pour les eaux brutes destinées à la production d'eau potable est de 50 mg/l pour les eaux superficielles et de 100 mg/l pour les eaux souterraines.

2.10.2.2/ Les nitrites: La présence de nitrites d'origines naturelles est très rare. Dans les eaux de surface, leur teneur est en général inférieure à 1 mg/l. La présence des nitrites est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac, soit à la réduction des nitrates (par voie chimique et bactérienne). Une eau contenue des nitrites est considérée comme suspecte car cette présence est souvent liée à une détérioration de la qualité microbiologique. Les nitrites peuvent être dangereux tant à court terme qu'à long terme, elles peuvent causer la maladie bleu, formation de nitrosamines dans le tube digestif.

2.10.2.3/ Azote ammoniacal: L'azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux superficielles. Il a pour origine la matière organique végétale et animale des cours d'eau. La nitrification des ions ammonium se fait en milieu aérobie faible. En général, l'ammonium se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation bactérienne. Pour les eaux qui ont des pH compris entre 6,5 et 8,5, la plus grande de l'azote ammonium se trouve sous forme d'ions d'ammonium NH_4^+ .

L'ammonium en lui-même n'est pas nuisible. Lorsque le pH augmente, on retrouve de l'ammoniac, un gaz soluble dans l'eau et toxique pour la vie aquatique. Des problèmes apparaissent à partir d'une concentration de 0,1 mg NH_3 /l. les réactions avec l'eau sont réversibles en fonction de la température.



2.10.2.4/ Les phosphates: Les phosphates peuvent être d'origine naturelle (produit de décomposition de la matière vivante, lessivage de minéraux) mais, à l'heure actuelle, leurs présences dans les eaux sont plutôt d'origine artificielle (engrais, poly phosphates des formulations détergentes, industries agroalimentaires, traitements de surface).

Pour des pH compris entre 5 et 8, seules les formes H_2PO_4^- et HPO_4^{2-} existent en quantités appréciables. L'ensemble des formes organiques et minérales constitue le phosphore total (PT). Des teneurs supérieures à 0,5 mg/l permettent de suspecter la pollution d'une eau naturelle. La présence de phosphore dans les eaux de surface entraîne un développement important des algues microscopiques mais aussi macroscopiques qui caractérise le phénomène l'eutrophisation. Cette dernière peut se manifester à des concentrations relativement basses en phosphates (50 $\mu\text{g P/l}$).

2.10.3/ Elément toxiques: Qui peuvent être minéraux comme les métaux lourds tels que le cadmium, le cuivre, le plomb, le mercure et le chrome, ou organiques comme les phénols, les hydrocarbures ou les pesticides.

2.11/ L'équilibre calco-carbonique:

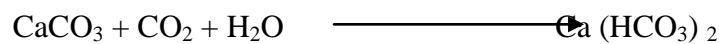
Dans le cas où le pH d'une eau à distribuer est inférieur à 6,5, on doit le rajuster pour l'amener à une valeur acceptable avant la distribution de cette eau. Le pH ajusté est appelé «pH d'équilibre ou pH de saturation». Ainsi, une eau à son pH d'équilibre n'a tendance ni à dissoudre le carbonate de calcium (CaCO_3) ni à faire précipiter le CaCO_3 .

- Si le CaCO_3 a tendance à cristalliser (se précipiter), l'eau est dite entartrant (ou de caractère incrustant) ce qui implique la formation des dépôts de CaCO_3 .

- Si l'eau a tendance à dissoudre le calcaire (CaCO_3), elle est dite agressive envers les matériaux calcaires.

En équilibre calco-carbonique, le CaCO_3 forme une couche à la surface des conduites en équilibre avec sa forme dissoute.

La réaction chimique prépondérante est :



2.12/ L'équilibre ionique:

La somme des milliéquivalents des cations doit être égale à la somme correspondante des anions. Si la comparaison montre que l'on s'écarte trop de l'équilibre, cela veut dire que les résultats de l'analyse pèchent quelques erreurs.

L'erreur admissible:

$$E\% = ((\sum \text{cation} - \sum \text{anions}) / \sum \text{cation}) \times 100 < 5\%$$

3/ Paramètres biologiques:

Les eaux de boisson ou les eaux naturelles peuvent présenter une source de contamination biologique (ingestion de μ -org pathogènes) responsable d'infections hydriques. Ces dernières présentent un caractère épidémique (Nombre élevée des malades). Les épidémies hydriques peuvent avoir trois origines :

- L'eau provient de nappe non traitée et contaminée ;
- Traitement de désinfection: absence, interruption ou insuffisance de ce traitement
- Incidents dans les circuits de distribution de l'eau: interconnexion eau usée/eau potable ou siphonages d'eaux sales dans le réseau d'eau potable.

Dans les pays industrialisés, la pathologie infectieuse d'origine hydrique est pratiquement négligeable. On peut distinguer trois types d'infections:

3.1/ Infection bactériennes:

On peut dénombrer des types illimités de bactéries pathogènes rencontrées dans les infections bactériennes d'origine hydrique dont les principales sont: Escherichia coli, salmonella typhi et paratyphi, clostridium et Shigella.

3.2/ Infection virales:

Les virus responsables d'infections hydrique sont excrétés dans les selles d'individu, on peut dénombrer plus de 130 virus pathogènes dont les principaux sont: les entérovirus, les rota virus et calice virus.

3.3/ Infection parasitaires:

On peut distinguer deux types d'organismes impliqués dans ces infections:

→ Les protozoaires: organismes unicellulaire eucaryotes tels que: amibe et Giardia lambia.

→ Les helminthes: organismes pluricellulaire de types vers.

Pour évaluer le risque microbiologique d'une eau, on procède à la recherche de certains germes tests faciles à isoler et à dénombrer dans les principaux sont: les coliformes fécaux ou les thermo tolérants et les streptocoques fécaux, coliformes totaux et les clostridium sulfitoréducteurs. Ces germes peuvent se trouver dans les matières fécales mais également vivre et se multiplier dans les milieux naturels.

III. Les normes et recommandations :

Une eau potable doit présenter un certain nombre de caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et en outre répondre à des critères organoleptiques essentiels

(incolore, insipide, inodore, fraîche) appréciés par le consommateur (tableau N°15). L'organisation mondiale de la santé a édicté des normes internationales pour l'eau de boisson, qui comprennent un exposé général des normes bactériologiques, physiques, chimiques, biologiques et radiologiques

[Mémento technique], [ROLAND.V].

Tableau N°08: Les concentrations admissibles dans l'eau potable

Eléments	Unité	O.M.S	C.E.E
Ph	-	7-8,5	6,5-8,5
Conductivité	μ S/cm	-	12,50
Dureté	°F	-	10-35
Ca ²⁺	mg/L	200	100
Mg ²⁺	mg/L	150	50
Na ⁺	mg/L	-	100
K ⁺	mg/L	-	12

(Suite de tableau N°08)

Al ³⁺	mg/L	-	0,2
SO ₄ ²⁻	mg/L	200	250
Cl ⁻	mg/L	200	200
NO ₃ ⁻	mg/L	44	50
NO ₂ ⁻	mg/L	-	0,1
NH ₄ ⁺	mg/L	-	0,5

1/ Les normes de l'eau potable:

1.1/ Notions générales:

Les fonctions vitales, alimentaires et sanitaires de l'eau sont primordiales. Sur les 3600 milliards de mètres cube utilisés chaque dans le monde, l'eau potable représente moins de 10 %.

L'eau potable nécessaire à l'alimentation doit présenter certaines qualités physico-chimiques et biologiques complexes, définies à l'échelle mondiale par l'Organisation Mondiale de la santé (OMS). Si de telles normes sont appliquées dans les pays industrialisés, il n'en va pas de même dans la plupart des pays en développement, où le

manque d'eau potable constitue aujourd'hui le problème environnemental le plus grave.

[J. Bernard]

Les normes fixent le but à atteindre pour la transformation de l'eau brute en eau potable. Elles définissent les doses maximales admissibles pour une substance donnée correspondant à la qualité qu'un individu peut absorber sans danger pour sa santé tout au long de sa vie. Elles présentent les valeurs à ne pas dépasser.

1.2/ Les normes internationales de l'eau potable:

Les normes de qualité des eaux destinées à la consommation humaine suivant l'Organisation Mondiale de la santé (OMS) et Communautés Européennes des eaux (CEE) sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau N°09: Les normes de l'eau potable suivant l'OMS et CEE

[B. Koribaa].

Paramètres	Unités	OMS	CEE
Paramètres physico – chimiques			
Turbidité	FTU	5	4
Température	°C	-	25
Ph	Un. pH	6,5 à 8,5	-
Conductivité	µs/cm	-	-
Résidu sec	mg/L	2000	1500
Chlorures	mg/L	250	200
Sulfates	mg/L	400	250
Calcium	mg/L	-	100
Magnésium	mg/L	-	50
Sodium	mg/L	200	150
Potassium	mg/L	-	12
Nitrates	mg/L	44	50
Nitrites	mg/L	3	0,1
Ammoniaques	mg/L	-	0,5
Hydrocarbures	µg/L	-	10
Fer	µg/L	300	200

Manganèse	µg/L	100	50
Cuivre	µg/L	1000	-
Zinc	µg/L	5000	5000
Fluorure	µg/L (8-12°C)	1500	1500
MES	µg/L	-	-
Cadmium	µg/L	5	5
Chrome	µg/L	50	50
Nickel	µg/L	50	50
Plomb	µg/L	50	50
Chlore	mg/L	50	50
Dureté totale	°F	0,1	-

(Suite de tableau N°09)

Minéralisation	mg/L	50	10 – 35
Alcalinité	°F	-	-
Paramètres microbiologiques			
Coliformes totaux	N/100 ml	0	0
Streptocoques fécaux	N/100 ml	0	0

1.3/ Les normes Algériennes de l'eau potable:

L'Algérie s'est basé sur les normes internationales, pour établir ses propres normes, ont peut dire que c'est une combinaison des différents normes qui existe sur le plan international.

Tableau N°10: Les normes Algériennes de l'eau potable [Document de l'ANRH].

Paramètres	Valeurs	Unités
Paramètres organoleptiques		
Couleur	25	Mg/L Pt – Co
Odeur	Doit être acceptable	Taux de dilution
Turbidité	1 – 2	NTU
Saveur	Doit être acceptable	Taux de dilution
Paramètres physico – chimiques		

Température	25	°C
Ph	6,5 – 8,5	-
Conductivité	2800	µs/cm
Résidu sec (110)	2000	mg/L
Calcium	75 – 200	mg/L
Magnésium	150	mg/l
Sodium	200	mg/L
Potassium	20	mg/L
Chlorure	200 – 500	mg/l
Sulfates	200 – 400	mg/L
CO ₃ ²⁻ - CO ₃ H ⁻	-	-
Aluminium	0,2	mg/L

Substances indésirables		
Nitrates	50	mg/L
Nitrites	0,1	mg/L
Ammonium	0,05 – 0,5	mg/L
Phosphates	0,5	mg/L
Ox. KMnO ₄ (acide) (Mo)	3,5	mg/L
Bore	0,3	mg/L
Fer	0,3	mg/L
Cuivre	0,05 – 1,5	mg/L
Zinc	1 – 5	mg/L
Manganèse	0,5	mg/L
Barium	0,7	mg/L
Phénols	-	-
Fluorure	0,8 – 2	mg/L
Argent	-	-
Carbone organique total	-	-
Azote	2	mg/L

Substances toxiques		
Arsenic	0,05	mg/L
Cadmium	0,01	mg/L
Cyanure	0,05	mg/L
Mercure	0,001	mg/L
Plomb	0,05	mg/L
Chrome	0,05	mg/L
Nickel	0,02	mg/L
Antimoine	0,005	mg/L
Sélénium	0,01	mg/L
Epichlorhydrine	-	µg/L
1.2-dichloroéthane	30	µg/L
Tétrachloroéthylène	40	µg/L
Benzo (a) pyrène	0,7	µg/L

(Suite de tableau N°10)

Benzène	-	µg/L
Tétrachlorure de carbone	2	µg/L
Chlorure de vinyle	5	
Paramètres microbiologiques		
Coliformes totaux	0	N/100 ml
Streptocoques fécaux	0	N/100 ml
Coliformes thermo tolérants	0	N/100 ml
E. coli	0	N/100 ml

***Chapitre (3):
Les phénomènes
d'Entartrage
et
de Corrosion***

I. Le Phénomène d'entartrage :

1/ Introduction :

Tous les circuits alimentés par des eaux chaudes sont confrontés au problème de formation de dépôts cristallins au niveau de parois en contact avec l'eau.

Le tartre est le nom donné à un dépôt cristallin adhérent, constitué de carbonate de calcium CaCO_3 et d'hydroxyde de magnésium $\text{Mg}(\text{OH})_2$, qui se forme à partir d'une température de chauffage supérieure à 50°C .

Les inconvénients du tartre sont multiples: baisse du coefficient de transfert du thermique ; réduction du diamètre des conduites d'eau ; invasion par le tartre des systèmes de production d'eau chaude (chaudières, échangeurs,.....etc.). **[B. Koribaa]**

2/ Définition de l'entartrage :

Depuis l'aube des temps, le phénomène d'entartrage est connu, ne serait ce que par la formation d'architectures tout à fait remarquable comme par exemple les stalactites et leurs homologues les stalagmites, qui sont essentiellement composées de CaCO_3 , dont le processus de formation est inséparable du dégazage en CO_2 de l'eau naturelle.

Le tartre est le nom donné à un dépôt cristallin adhérent, constitué majoritairement de carbonate de calcium CaCO_3 , lorsqu'il est déposé à partir des eaux de surface.

Dans installations industrielles, le CaCO_3 est fréquemment associé à un peu d'hydrogène ferrique lorsque l'eau circule dans des conduites en acier.

On a également signalé des associations avec de la silice et quand les eaux naturelles utilisées pour le refroidissement contiennent des matériaux en suspension (sables ou argiles) on le retrouve aussi associés au dépôt.

Dans l'industrie ce sont surtout les circuits de refroidissement et les chaudières qui sont concernés à cause de la dégradation des coefficients de transfert thermique dû à la formation dans les échangeurs de chaleur de dépôts cristallins.

Dans les procédés à membranes, la formation de tartre provoque des colmatages plus ou moins difficiles à éliminer, ce qui dégrade très rapidement les performances.

En exploitation pétrolière et en géothermie, de redoutables problèmes de colmatage des structures géologiques se posant aussi, d'autant plus gênantes qu'une intervention in-situ devient ici très compliquée.

Les formations de tartre sont à l'origine de certaines maladies : calculs rénaux et calcifications du système cardio-vasculaire.

Et comment ne pas évoquer les implications géologiques puisque tous les dépôts calcaires apparus au cours des âges géologiques représentant un gigantesque processus d'entartrage développé en milieu marin et qui se perpétue encore de nos jours [C. Hort].



Figure N°02: Conséquence de l'entartrage.

3/ Conséquences de l'entartrage :

Le tartre, dépôt adhérent, est formé principalement par la précipitation du carbonate de calcium, environ 90% du précipité global [BESSA.N]. Il soit alcalin, principalement des carbonates de calcium et d'hydroxyde de magnésium ou non alcaline, principalement le sulfate de calcium qui existe sous trois formes: CaSO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ et $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Ces trois formes sont beaucoup plus solubles que le carbonate de calcium et l'hydroxyde de magnésium. Donc, ces tartres ne se forment que dans le cas où la solution serait sursaturée en sulfate de calcium à des températures élevées. Les conséquences d'un entartrage sont :

3.1/ Conséquences hydrauliques : L'accumulation d'une épaisseur de tartre dans les équipements conduit à une diminution des sections de passage, ce qui occasionne une augmentation de la résistance hydraulique des réseaux qui conduit dans tous les cas à une augmentation de la dépense énergétique des pompes dans le cas de réseaux fermés ou sur pressés et :

- Si la hauteur manométrique des pompes ou la charge disponible reste constante, à une diminution du débit ;

- Si le débit est maintenu constant à une augmentation de la perte de charge, une vitesse accrue et donc un niveau sonore plus élevé [**H. Roques**].

3.2/ Conséquences bactériologiques: Il a été montré que les réservoirs les réseaux et les points de puisage (talque les robinets) des réseaux d'eau chaude sanitaire pourraient, s'ils étaient entartrés, être favorables à «l'accueil» et à la prolifération de Legionella. Ceci conduit à des opérations régulières de détartrage nécessaires avant toute désinfection [**H. Roques**].

3.3/ Conséquences technologiques: L'entartrage peut avoir pour conséquences technologiques :

- Le blocage des organes de manœuvre des robinetteries,
- L'impossibilité d'obtenir l'étanchéité siège-clapet des robinetteries,
- Le blocage des soupapes de sécurité,
- La diminution du volume utile des réservoirs,
- Des dégradations des états de surface des appareils sanitaires,
- L'entraînement de particules en suspension qui peuvent être abrasives [**H. Roques**].

3.4/ Conséquences thermiques et énergétiques: Les tartres ont des conductivités thermiques très faibles en regard des matériaux utilisés dans la construction des échangeurs : acier ou cuivre. Les matériaux ne sont pas tous sensibles à l'entartrage de la même façon. Pour qu'un entartrage puisse se produire il faut :

- ↳ Une précipitation de sels minéraux,
- ↳ Un accrochage des sels aux parois.

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

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

Tableau N°11: Données thermiques de WEBER et COL concernant les transferts des chaleurs à travers les tartres [**H. Roques**].

Type de tartre	Conductivité thermique en W/m° k	Epaisseur de la couche de tartre	Perte d'efficacité
CaCO ₃	1,5 à 1,8	0,1 mm	7 %
		0,25 mm	15 %
		0,5 mm	26 %
		1 mm	41 %
CaSO ₄	0,6 à 2,3	0,1 mm	9 %
		0,25 mm	20 %
		0,5 mm	33 %
		1 mm	50 %

(Suite de tableau N°11)

SiO ₂	0,08 à 0,18	0,1 mm	50 %
		0,25 mm	71 %
		0,5 mm	83 %
		1 mm	91 %

4/ L'entartrage et la dureté de l'eau :

4.1/ La dureté de l'eau:

La dureté d'une eau est due à la présence d'ions métalliques bivalents Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺, Mn²⁺, Sr²⁺etc, les plus abondants étant les ions Ca²⁺ et Mg²⁺.

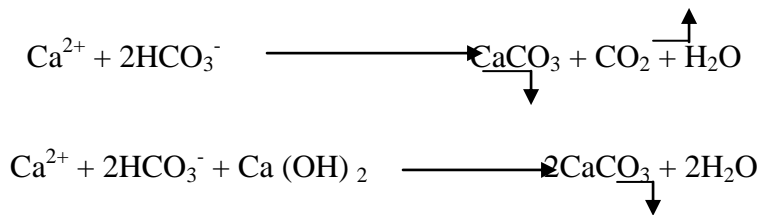
En pratique, on considère souvent que la dureté totale d'une eau de consommation est égale à la somme de sa dureté calcique et de sa dureté magnésienne (dureté dues eaux ions Ca²⁺ et Mg²⁺).

Les eaux dures présentant cependant deux inconvénients principaux qui, dans certains cas, justifient un traitement d'adoucissement. Etant donné que les ions responsables de la dureté réagissent avec les savons, il y a augmentation de la quantité de savon nécessaire pour la lessive. De plus, les ions calcium, Ca²⁺, ont tendance à précipiter dans les bouilloires sous forme de carbonate de calcium [**R. Desjardins**].

4.1.1/ Les types de dureté: On classe la dureté d'une eau en deux types: dureté calcique ou dureté magnésienne (classification selon les ions métalliques présents) ; dureté carbonatée ou dureté non carbonatée (classification selon les anions associés à ces ions métalliques).

4.1.1.1 / Dureté calcique et magnésienne: Elle correspond aux ions de calcium Ca^{++} (dureté calcique) et de magnésium Mg^{++} (dureté magnésienne) liés aux anions étranges (talque: CO_3^{2-} , SO_4^{2-}). Il peut être parfois important de connaître la dureté calcique ou la dureté magnésienne d'une eau. Par exemple, pour calculer la quantité de chaux nécessaire dans les procédés d'adoucissement par addition d'un excès de chaux ou par addition d'un excès de chaux et de soude [**R. Desjardins**].

4.1.1.2 / Dureté carbonatée et non carbonatée: On considère que la dureté carbonatée correspond à la partie de la dureté totale chimiquement équivalente à la quantité de bicarbonates présents dans une eau. Puisque la mesure de la quantité de bicarbonates (exprimée en CaCO_3), correspond en général à l'alcanité de la plupart des eaux est égale à leur dureté carbonatée. Les ions bicarbonates ont une certaine importance, puisqu'ils constituent une source d'ions carbonates, lesquels favorisent la précipitation de Ca^{2+} sous la forme de CaCO_3 lorsque la température est élevée. Cette précipitation, qui a lieu dans des bouilloires, est régie par les équations suivantes :



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

On appelle dureté non carbonatée la partie de la dureté qui n'est pas chimiquement équivalente à la quantité de carbonates. Ce type de dureté est en général associée aux sulfates, chlorures, nitrates,etc.

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

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

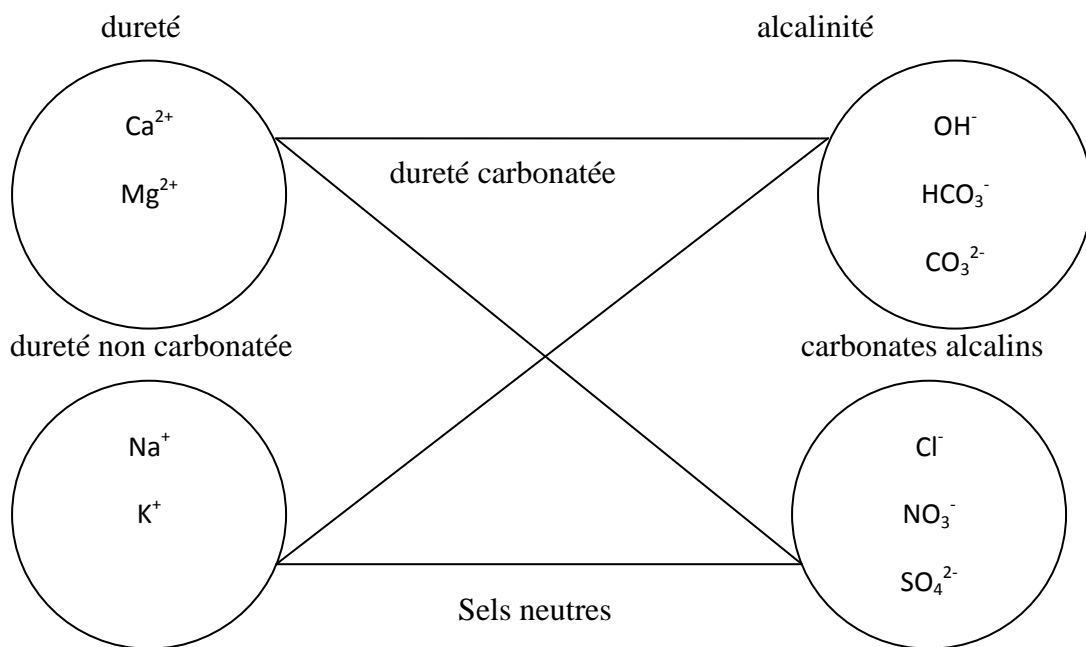


Figure N°3: Relations entre les divers ions présents dans l'eau.

4.2/ L'entartrage et titre alcalimétrique (TA et TAC) :

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

L'alcalinité est produite en majeure partie par des anions ou des espèces moléculaires d'acides faibles, principalement l'hydroxyde, le bicarbonate et le carbonate ; d'autres espèces, comme les borates, les phosphates, les silicates et les acides organiques, peuvent également y contribuer dans une certaine mesure. L'alcalinité est exprimée en quantité équivalente de carbonate de calcium.

L'alcalinité se mesure par la neutralisation d'un certain volume d'eau par une solution diluée d'un acide minéral, le point d'équivalence étant déterminé par des indicateurs colorés. En présence de phénol phtaléine à (PH = 8,3), on mesure donc les ions hydroxydes et la moitié des carbonates, cette détermination correspond au titre alcalimétrique (TA). En présence de méthylorange à (PH = 4,3), on mesure donc la somme des ions hydroxydes, des carbonates et des bicarbonates, cette détermination correspond au titre alcalimétrique complet (TAC) [F. Berné ; J. Cordonnier]. Le tableau (12) résume les valeurs des concentrations des différents anions en fonction de TA et TAC.

Tableau N°12: Concentration des différents anions en fonction des valeurs respectives du TA et TAC. [F. Berné ; J. Cordonnier]

Valeurs respectives du TA et TAC	[OH ⁻]	[CO ₃ ⁻²]	[HCO ₃ ⁻]
Si TA = 0	0	0	TAC
Si TA < TAC/2	0	2 TA	TAC – 2TA
Si TA = TAC/2	0	TAC	0
Si TA > TAC/2	2 TA – TAC	2(TAC – TA)	0
Si TA =TAC	TAC	0	0

Si le TA et TAC sont égaux, toute l'alcalinité est due aux hydroxydes (OH⁻).

Si le TA est égale à la moitié du TAC, toute l'alcalinité est due au carbonate.

Si le TA est nul, toute l'alcalinité est due aux bicarbonates.

Si le TA est supérieur à la moitié TAC, des carbonates et des hydroxydes sont présents,

ce qui explique :

$$TA = [OH^-] + \frac{1}{2}[CO_3^{2-}]$$

$$TAC = [OH^-] + [CO_3^{2-}]$$

$$[OH^-] = 2TA - TAC$$

$$[CO_3^{2-}] = 2(TAC - TA)$$

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

$$[CO_3^{2-}] = 2TA$$

$$[HCO_3^-] = TAC - 2TA$$

4.3/ L'entartrage et le titre hydrométrique (TH) :

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

J. Cordonnier]

4.3.1/ Le TH calcique: Il correspond à la teneur globale en sels de calcium. [F. Berné ;

J. Cordonnier].

Remarque: La relation de pH de saturation est donnée comme suit:

$$\text{pH}_s = \text{pCa} + \text{palc} + \text{C}$$

Tel que:

pH_s : pH de saturation.

pCa : Logarithme négatif de la concentration de calcium.

palc : Logarithme négatif de la concentration de l'alcalinité.

C: Valeur variante qui est déterminée à partir de teneur des sels et la température suivant le diagramme de Langelier.

4.3.2/ Le TH magnésium: Il correspond à la teneur globale en sels de magnésium.

4.4/ Les indices d'entartrage:

Les eaux de distribution ont des compositions très différentes suivant leur origine.

Plusieurs facteurs peuvent aussi avoir une influence sur le pouvoir entartrant de l'eau ; parmi ces facteurs on cite: la dureté en calcium, l'alcalinité, la température, le pH, et la qualité de l'eau qui peut être déterminée à partir de certains indices qui sont:

4.4.1/ Indice de Langelier ou indice de saturation: C'est l'étude de l'équilibre carbonique d'une eau calcaire ; il fait intervenir tous les équilibres qui existent à une température donnée entre les ions H^+ , OH^- , CO_3^- , H_2CO_3 , ce qui se ramène à établir une relation entre le pH, le titre hydrométrique calcique, l'alcalinité et la température.

L'indice de saturation de Langelier est égale à la différence entre le pH actuel de l'eau et le pH de saturation (pH auquel elle ne serait ni entartrant ni corrosive) ce pH de saturation pH_s s'obtient à partir de la température, la dureté calcaire, l'alcalinité au méthylorange ou l'alcalinité complète (TAC) et la teneur en solides totaux dissous [H.

Roques]

Tableau N°13: Les paramètres de Langelier.

pH de saturation	Tendance de liant
-------------------------	--------------------------

$\text{pH} - \text{pH}_s > 0$	Eau entartrant
$\text{pH} = \text{pH}_s$	Eau neutre
$\text{pH} - \text{pH}_s < 0$	Eau corrosive

4.4.2/ Indice de Ryznard ou indice de stabilité: Une autre méthode d'évaluation pour résoudre ce même problème est l'indice de stabilité de Ryznard. C'est un indice empirique destiné pour déterminer le caractère corrosif ou entartrant des eaux [F. Berné, J.

Cordonnier]

L'indice de Ryznard est donné par la relation suivante:

$$\text{IR} = 2\text{pH}_s - \text{pH}$$

Où: pH_s est le pH de saturation de Langelier.

L'interprétation suivant l'indice de Ryznard est donnée dans le tableau (14) :

Tableau N°14: L'indice de Ryznard et les caractères des eaux
[F. Berné, J. Cordonnier].

Indice de Ryznard	Comportement de l'eau dans le réseau
4 – 5	Entartrage important
5 – 6	Entartrage faible
6 – 7	Equilibre ou légère corrosivité
7 – 7,5	Légère corrosivité
7,5 – 8,5	Corrosivité notable

5/ Paramètres de l'entartrage :

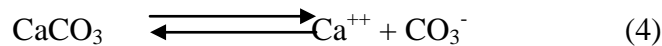
Il existe quelques paramètres qui contribuent à la précipitation des sels, ces paramètres sont les suivants [R. Rosser, F. Nguyen, K. Walha, M. Ben Amor et A. Daoud]:

- La présence de calcaire dans l'eau ;
- La température de l'eau ;
- La présence dans l'eau d'éléments favorisants ;
- Influence de la nature de la canalisation.

5.1/ La présence de calcaire dans l'eau:

La présence de sels de calcium et, dans une moindre mesure, de magnésium dans l'eau est le premier facteur qui contribue au caractère entartrant de l'eau. Ainsi, plus la dureté de l'eau est élevée, plus il y a prédisposition au dépôt de calcaire (en fait, de carbonate de

calcium CaCO₃ (4)) sur les parois en contact avec l'eau. Mais la présence de sels de calcium dans l'eau n'est pas à elle seule suffisante pour provoquer l'entartrage.



5.2/ La température de l'eau:

La réaction chimique qui provoque la précipitation du carbonate de calcium est largement favorisée par l'élévation de la température qui, en libérant du gaz carbonique, accélère la précipitation du tartre. Il n'y a pas ou très peu d'entartrage sur les canalisations d'eau froide. En revanche, les circuits d'eaux chaudes sanitaires représentent un terrain favorable à l'entartrage.

5.3/ La présence dans l'eau d'éléments favorisants:

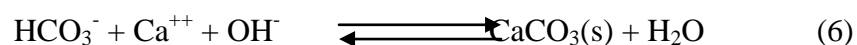
On a pu constater que deux types d'eaux de composition identique et placées dans les mêmes conditions n'avaient pas forcément le même pouvoir entartrant. Le phénomène tient à la présence dans l'eau en quantité infinitésimale susceptible de déclencher le phénomène d'entartrage. Ainsi, la présence dans l'eau d'ions cuivre ou d'ions zinc freine le dépôt de tartre qui reste en suspension dans l'eau. Les quantités nécessaires sont très faibles, de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de microgrammes par litre.

5.4/ Influence de la nature de la canalisation:

Dans le cas des eaux moyennement ou peu entartrant, le cuivre peut empêcher l'apparition des premières traces de tartre et bloquer ainsi le développement naturel du processus d'entartrage. Le cuivre a donc un avantage décisif sur les autres matériaux avec lesquels il y a toujours amorce d'entartrage. Dans le cas des eaux très entartrant, il y a aussi un avantage au cuivre mais d'un autre ordre. Le tartre déposé sur un tube de cuivre contient lui-même des traces qui jouent leur rôle bactéricide vis-à-vis des eaux transportées. On sait que le tartre favorise le développement de certaines bactéries comme celles de la légionellose, mais si la canalisation est en cuivre, la présence de ces traces de cuivre dans le tartre va inhiber le risque de prolifération des micro-organismes.

6/ Précipitation du carbonate et calcium :

Le carbonate de calcium est peu soluble, la solubilité apparente du carbonate de calcium en fonction du pH est représentée figure (3). Il commence à précipiter dès pH = 8 à partir de l'anion hydrogénocarbonate [**R. Rosset**]:



On Remarque que la solubilité de carbonate de calcium diminue avec l'élévation de pH.

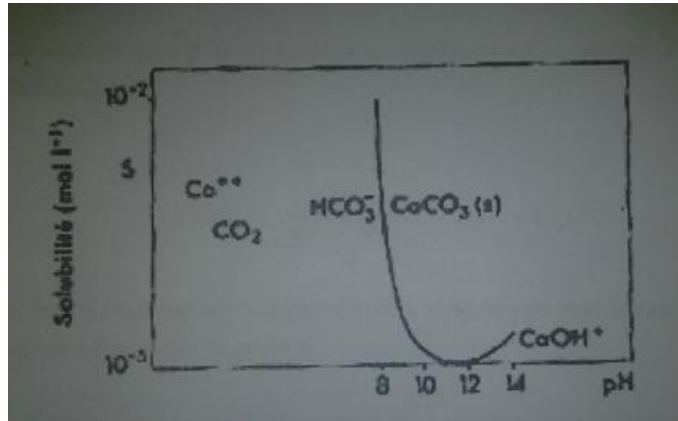


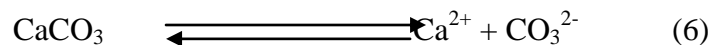
Figure N°4: Solubilité apparente du carbonate de calcium en fonction du pH.

Le tableau (15) rassemble les solubilités du carbonate de calcium à deux températures. La solubilité augmente avec la température ce qui est normal. Ceci peut sembler en contradiction avec le fait que l'entartrage est plus important à chaud qu'à froid. En réalité, ce phénomène est en relation avec la diminution de la solubilité du dioxyde de carbone lorsque la température augmente, et avec la dépendance des constantes thermodynamiques avec la température.

Tableau N°15: Solubilité des différentes variétés de carbonate de calcium dans l'eau.

Forme cristalline	Solubilité (mg.L-1)	
	à 25°C	à 50°C
Calcite	14,33	15,04
Aragonite	15,28	16,17
Carbonate de calcium précipité	14,45	15,15

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



Le sens (1) correspond à la dissolution de cristaux de carbonate de calcium ; et le sens (2) correspond à l'apparition de cristaux.

Lorsque le minéral est en excès dans un volume d'eau, les concentrations de ses composants ionisés sont liées par la relation :

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

Où :

Ks : produit de solubilité.

Si le produit $[\text{CO}_3^{2-}] \cdot [\text{Ca}^{2+}]$ est inférieur à Ks il ne pourra pas y avoir précipitation.

Inversement pour avoir précipitation du carbonate de calcium, il est nécessaire d'avoir :

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

Généralement, dans un circuit d'eau, on peut écrire en tout point de ce circuit :

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

Où δ est le coefficient de sursaturation local de l'eau. En effet trois cas peuvent se présenter en un point :

- * $\delta < 1$: l'eau localement agressive.
- * $\delta = 1$: l'eau est localement à l'équilibre.
- * $\delta > 1$: l'eau est thermodynamiquement susceptible de précipiter localement le CaCO_3 selon le processus de germination croissante citée auparavant.

Les germes de CaCO_3 produit peuvent avoir des évolutions variées :

- Le germe va croître et régresser puis redissoudre.
- Le germe va croître et évoluer vers un cristal. On va alors vers un phénomène de précipitation générateur de boues.
- Le germe va être produit au niveau d'une paroi métallique. On sera dans un processus d'entartrage, si la liaison avec la paroi est suffisamment forte.
- Le germe va rester en suspension dans l'eau et être entraîné par l'écoulement.

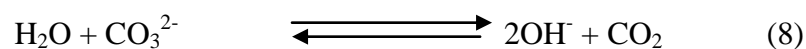
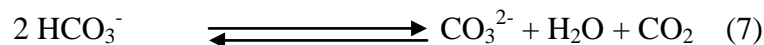
7/ Différents types de tartre :

L'analyse de tartre provenant du circuit de refroidissement ou des chaudières et même dans les installations industrielles montre la présence de plusieurs composants.

Parmi les composants fondamentaux qui forment le tartre l'ion bicarbonate (HCO_3^-), l'ion carbonique (CO_3^{2-}), l'ion magnésium (Mg^{++}) et les sulfates. Généralement il y a deux types de tartre: [M. Aljandra – Dominguez].

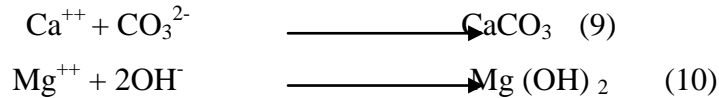
7.1/ Tartre alcalin:

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



L'élévation de la température provoque l'élimination du CO_2 donc obligatoirement la formation d'ion CO_3^{2-} , le carbonate de calcium CaCO_3 et l'hydroxyde de magnésium

Mg(OH)₂ se forment, lorsque les ions de calcium, de magnésium et les ions de carbonates et hydroxyde contenus dans l'eau, et de nous donnent respectivement :



La formation du carbonate de calcium solide est maximale aux alentours de 60°C, cela se traduit par une nette diminution de la concentration des ions Ca⁺⁺ en solution, en effet les bicarbonates se transforment en carbonate moins solubles. Au-delà de cette température, le solide alcalin commence à disparaître pour céder la place à un autre dépôt de tartre alcalin, l'hydroxyde de magnésium Mg(OH)₂ entre 90-100 °C. Donc, le degré de formation des ces deux mélanges dépend de la concentration de bicarbonate et de la température de travail (circuit).

7.2/ Tartre non alcalin:

Le type de tartre non alcalin le plus important est composé essentiellement de sulfates et surtout de sulfate de calcium (CaSO₄).

Il commence à apparaître d'une façon nette à partir de 100°C. Le sulfate de calcium peut se présenter sous plusieurs formes ; dans la nature, il existe trois formes :

- L'anhydride (CaSO₄).
- L'hymydrate (CaSO₄. ½ H₂O).
- Le di hydrate (CaSO₄. 2H₂O).

Les trois formes sont beaucoup plus solubles que le carbonate de calcium et l'hydroxyde de magnésium. Donc, ces tartres ne se forment que dans le cas où la solution serait sursaturée en sulfate de calcium à des températures élevées.

7.3/ Autres types de tartres:

Il existe autres types de tartres qui sont des variétés minoritaires, parmi ces types on cite :

7.3.1/ L'oxyde de fer et de cuivre: Ce type est rencontré généralement dans le cas où un acide est utilisé pour le traitement de l'eau ; la corrosion des composants cuivreux et ferreux de l'installation, amène souvent des oxydes de fer et de cuivre à se former dans les tubes.

7.3.2/ Silicates: La silice et le silicate de calcium et de magnésium sont insolubles ; ces tartres ne se manifestent que pour une eau ayant une concentration élevée.

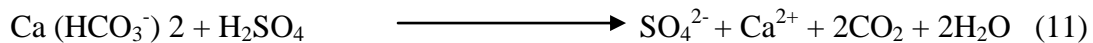
8/ Les procédés entre tartre :

Les considérations purement thermodynamiques sont incapables de prévoir si une eau va être entartrant et avec quelle importance ; en effet, les solutions peuvent être sursaturée en carbonate de calcium (CaCO₃) et la cinétique de la précipitation joue un rôle fondamental.

8.1/ Les procédés chimiques:

Les techniques utilisées pour éliminer les ions responsables de la formation du tartre sont les suivants:

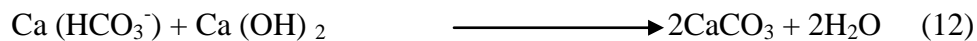
8.1.1/ La décarbonatation acide: Cette méthode permet la décomposition du bicarbonate de calcium par un acide fort. L'acide le plus souvent utilisé est l'acide sulfurique (H₂SO₄) dont la réaction de principe est la suivante.



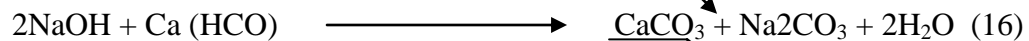
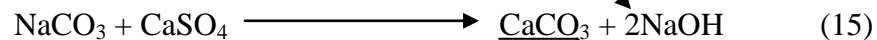
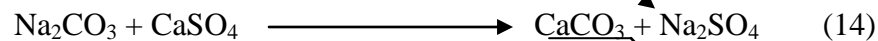
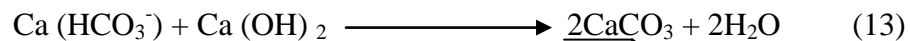
8.1.2/ La décarbonatation à la chaux ou à la soude:

Les principaux procédés de ce type sont les suivants.

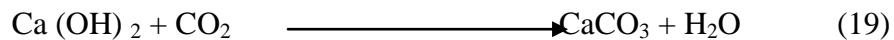
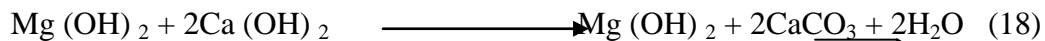
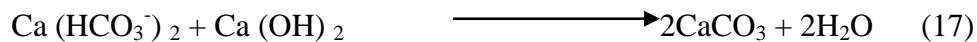
* Procédé par addition de la chaux seulement



* Procédé par addition de la chaux et de la soude



* Procédé par addition d'un excès de la chaux



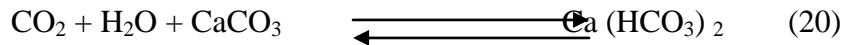
9/Mécanisme de l'entartrage :

9.1/ le système calco-carbonique:

9.1.1/ Généralités [M. Aljandra – Dominguez]: Les eaux naturelles, du fait de leur cheminement dans le sol et au contact de l'atmosphère, contiennent un certain nombre d'éléments dissous :

- √ Des cations tels que Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Fe^{2+}
- √ Des anions tels que Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- ,etc
- √ Des gaz dissous, essentiellement CO_2 et O_2
- √ Des colloïdes tel SiO_2 .

Parmi ces différents éléments, un certain nombre est susceptible de régir entre eux au sein d'un système que l'on appelle le système calco-carbonique. La réaction de base, qui illustre toutes ces possibilités de réactions, peut s'écrire :



Le CO_2 en provenance d'une phase gazeuse (atmosphère ou rhizosphère) peut se dissoudre dans l'eau et après hydratation et ionisation, donner lieu à une réaction acide qui permet l'attaque du CaCO_3 présent dans toutes les roches sédimentaires.

Celui-ci est dissous et passe en solution sous forme d'hydrogénocarbonate beaucoup plus soluble que le carbonate et qui constitue la forme de transport du futur tartre. Cette transformation qui correspond au sens (a) dans la réaction (4) est celle qui correspond au processus de solubilisation des roches sédimentaires dans le sol quand l'eau est au contact de la rhizosphère riche en CO_2 . Si par la suite cette eau perd du CO_2 par dégazage et ou échauffement, la réaction (4) peut être déplacée dans le sens (b) et donner lieu à une précipitation de CaCO_3 qui, s'il adhère aux parois, va constituer le tartre.

Tous les processus d'entartrages par CaCO_3 quelles qu'en soient les causes immédiates que nous énumérerons un peu plus loin débouchent directement ou indirectement sur la réaction (4) et l'échange de CO_2 entre phases liquide et gazeuse est le principe moteur de tout entartrage. Si on veut décrire correctement les équilibres et les cinétiques d'évolution de ces systèmes il est donc essentiel de les considérer comme des systèmes polyphasiques faisant intervenir trois phases simultanément en présence :

- une phase gazeuse, généralement constituée d'un mélange (air + CO_2) que l'on peut caractériser par la pression partielle de CO_2 : P_{CO_2} .
- une phase liquide constituée par l'eau naturelle considérée.

- une phase solide constituée des parois de l'appareillage concerné porteuses du tartre en cours de dépôts et des éventuels cristaux apparus en solution.

Les réactions chimiques principales se produisent entre ions en solution dans la phase liquide mais pour se dérouler, elles supposent des échanges de matières avec les deux autres phases, à travers les deux interfaces gaz/liquide et liquide/solide.

L'ensemble de ces réactions chimiques et transferts de matières résultant de ce processus peut se représenter comme en figure (5) :

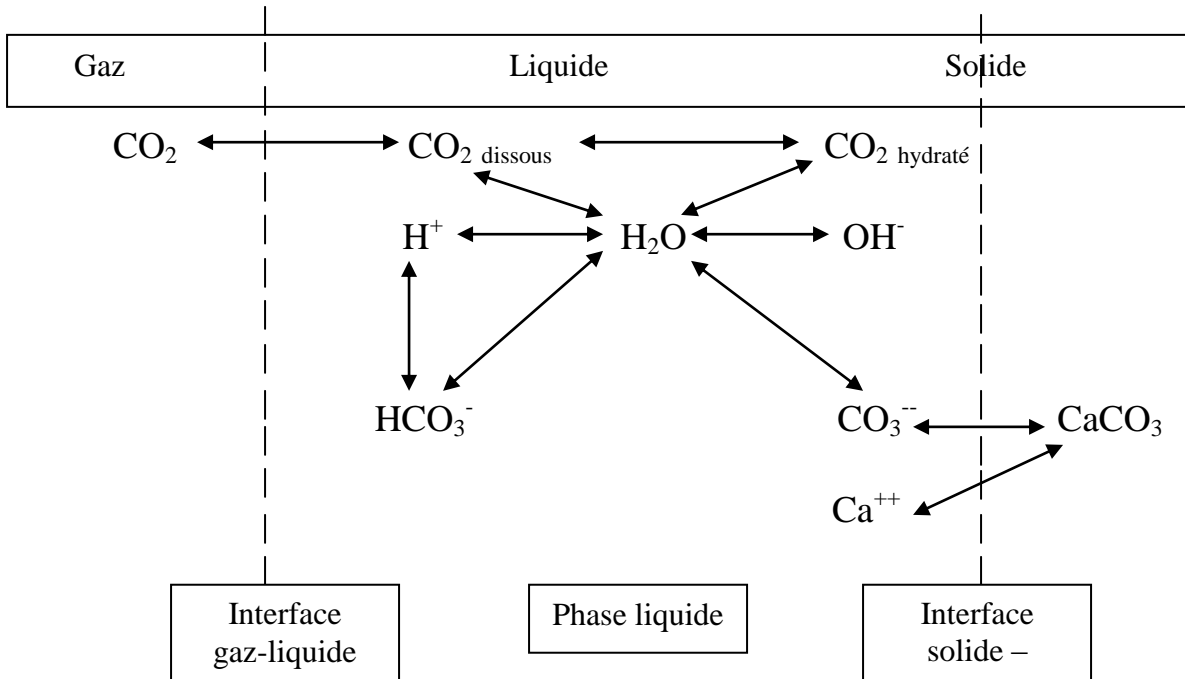
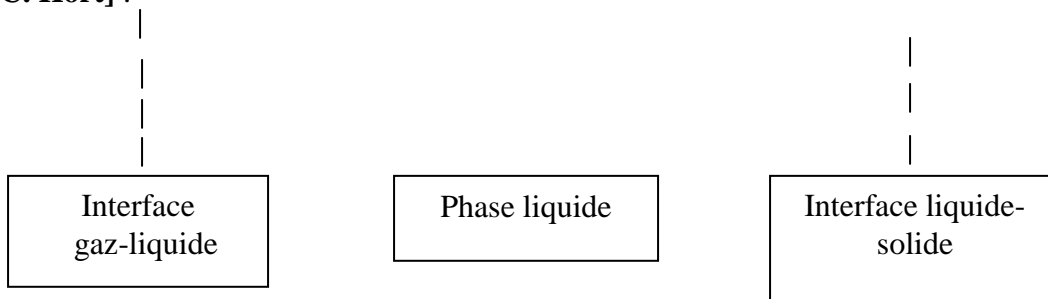


Figure N°05: Représentation schématique des échanges de matière aux interfaces et des réactions en phase liquide.

9.1.2/ Approche cinétique des évolutions du système calco-carbonique: On peut modéliser les étapes cinétiques de l'évolution du système calco-carbonique comme suit

[C. Hort] :



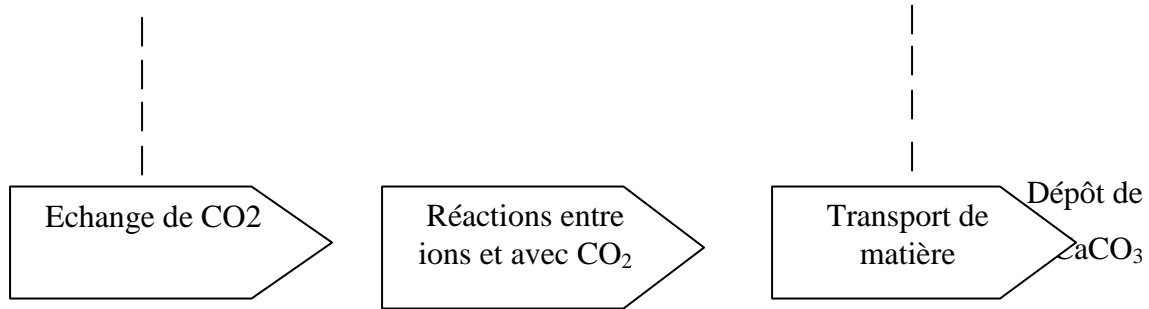


Figure N°06: Représentation schématique des étapes cinétiques de l'évolution du système calco-carbonique.

9.1.2.1/ Etape (1): Echange de CO₂ à l'interface Gaz-Liquide :

La première étape qui correspond à la cinétique d'échange de CO₂ à l'interface gaz-liquide obéit, comme tous les échanges de ce type, à des lois bien connues qui permettent par exemple d'exprimer la vitesse de variation de la concentration en CO₂ dissous dans la phase liquide par la relation :

$$\frac{d(CO_2)}{dt} = K_I \frac{A}{V} [(CO_2)^* - (CO_2)] \quad (a)$$

Dans laquelle:

K_I : est le coefficient de transfert ramené coté liquide, fonction de la température et de la turbulence de l'interface [m/s].

A : est l'aire de l'interface gaz-liquide [m²].

V : est le volume de la phase liquide [m³].

$\frac{A}{V} = a^*$: représente la surface spécifique du système gaz-liquide [m⁻¹].

$a^* . K_I$: est souvent considéré comme le coefficient de transfert global de cet échange.

$(CO_2)^*$: est la concentration en CO₂ dissous dans le liquide lorsque ce liquide est en équilibre de dissolution avec le CO₂ de la phase gaz [mol/m³].

(CO_2) : est la concentration en CO₂ dissous au temps t [mol/m³].

Donc la vitesse de transfert du CO₂ dépend du potentiel d'échange $[(CO_2)^* - (CO_2)]$ mais aussi du terme $a^* . K_I$ c'est-à-dire de la température, de la turbulence à l'interface gaz-liquide, et aussi de son état de dispersion caractérisé par le terme $a^* = \frac{A}{V}$.

9.1.2.2/ Etape (2): Les réactions en phase liquide:

La deuxième étape correspond aux réajustements ioniques en phase liquide. Sa vitesse d'évolution peut s'exprimer par les ions de la cinétique chimique en phase homogène. C'est la plus rapide. Son temps de réponse est de l'ordre de la seconde et elle ne saurait en aucun cas constituer l'étape cinétiquement limitant.

A l'issue de cette deuxième étape, les concentrations ioniques en solution et en particulier le produit ionique (CO_3^{--}) (Ca^{++}) ont subi une évolution. Si le produit de solubilité du carbonate se trouve dépassé par ce produit ionique un processus de précipitation peut s'amorcer.

9.1.2.3/ Etape (3): La croissance cristalline:

↳ L'étape de croissance cristalline peut classiquement se subdiviser en :

- **Un processus de transport diffusionnel** à la traversée de la couche limite. Il peut être modélisé par la loi de Fick et, dans la mesure où on peut clairement identifier les ions transportés, il débouche sur une cinétique du premier ordre, du type :

$$\frac{dC}{dt} = \frac{S}{V} K_D (C - C_{eq}) \quad (b)$$

Avec :

S : surface développée des cristaux en cours de croissance [m].

V : Volume de la solution [m^3].

K_D : Coefficient de transport diffusionnel [m^2/s].

C et C_{eq} : concentration à l'équilibre thermodynamique de l'ion considéré [mol/m^3].

- **Une cinétique dite de « Réactions de surface »**, terme vague qui cache l'ignorance dans laquelle on se trouve quant aux processus chimiques exacts qui se déroulent au voisinage immédiat des faces cristallines, mais qui englobe obligatoirement la déshydratation des ions transportés avant leur inclusion dans le cristal, et éventuellement la déprotonation de HCO_3^- .

Généralement ces deux étapes sont modélisées par un modèle empirique global qui utilise le formalisme de la cinétique chimique et qui est du type :

$$-\frac{d[\text{Ca}^{++}]}{dt} = K_T \cdot [[\text{Ca}^{++}] - [\text{Ca}^{++}]_{eq}]^n \quad (c)$$

Donc c'est un modèle à deux paramètres:

- * La constante de vitesse globale K_T
- * Le pseudo ordre de réaction n

↳ De son côté l'étape de germination résulte de deux processus en parallèle :

- **Une germination dite homogène** qui peut se produire au sein de la solution sursaturée si les hasards du déplacement des ions sous l'effet de l'agitation thermique créent au même instant et au même endroit une configuration amorçant l'empilement ordonné du futur cristal. C'est un phénomène hautement improbable mais l'expérience montre que sa probabilité n'est pas nulle et que cela finit toujours par se produire.

- **Une germination dite hétérogène** qui se produit au contact des parois du conteneur et qui se traduit par l'implantation d'un cristal adhérent à la paroi, amorce du futur tartre. En règle générale la germination hétérogène est beaucoup plus rapide que la germination homogène, et ce qui se passe à la paroi est la clé de tout le processus d'entartrage.

Globalement, l'ensemble des étapes de cette évolution peut se représenter comme en figure (7) :

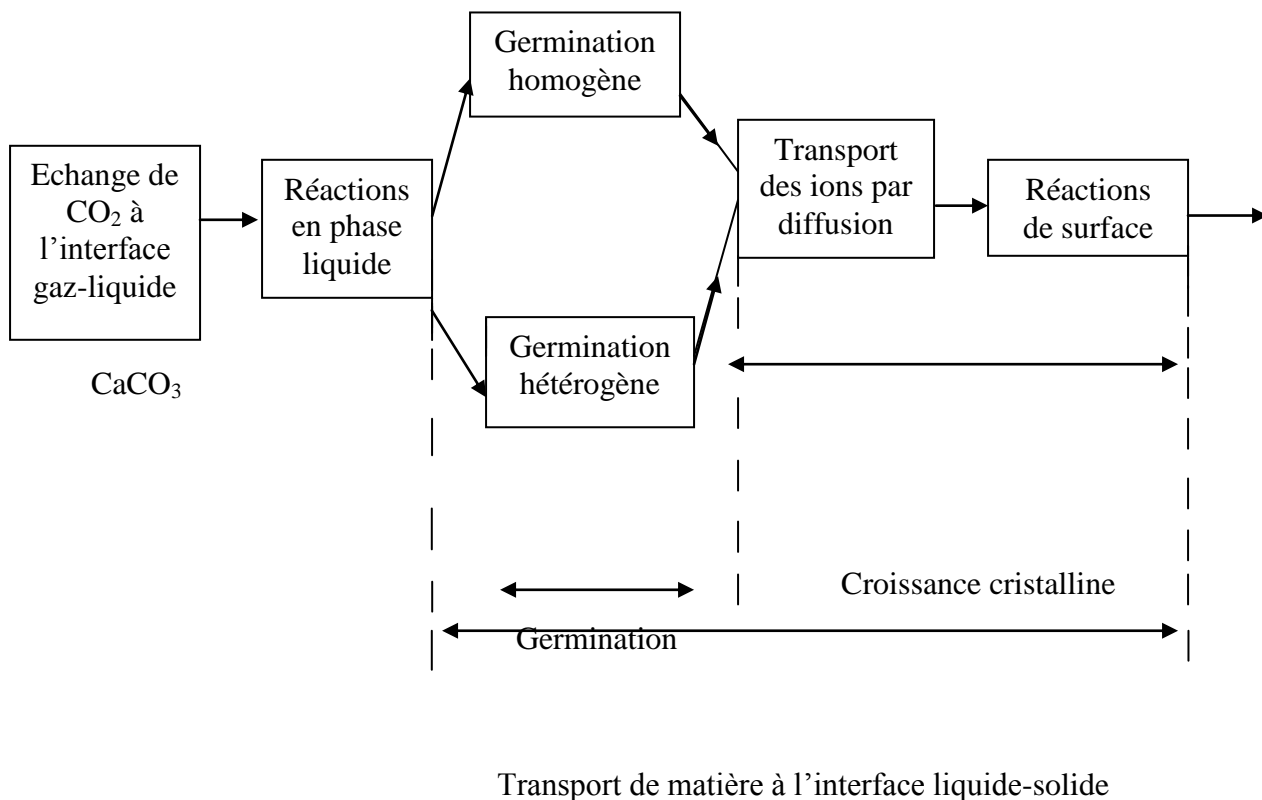


Figure N°07: Schéma développé de toutes les étapes cinétiques de l'évolution du système calco-carbonique.

II. Le Phénomène de corrosion

1/ introduction:

La corrosion est considérée comme l'un des problèmes majeurs de cette époque où les pertes causées par ce phénomène sont chiffrées en millions ou plutôt en milliards de dollars. Elle transforme les nouvelles constructions en squelettes fracassés, les machines en vieilles choses usées et les moteurs en un tas de ferrailles inutilisables.

La corrosion gaspille et épuise nos fortunes et le fruit de notre travail, comme elle conduit à des accidents regrettables et à la contamination de nos produits alimentaires, notamment les conserves et les médicaments, ceci a un impact direct sur la santé humaine. [M. Saïde ; M. Dakmouche]

2/ Définition de la corrosion :

La corrosion est une forme de complexe de phénomènes qui interviennent à l'interface du métal, elle se traduit par la détérioration de la substance à cause d'une réaction avec son milieu environnant, elle se traduit soit par dissolution, soit par dépôt.

La corrosion des métaux est définie comme le phénomène d'une destruction spontanée des métaux par réaction chimique, électrochimique avec le milieu ambiant. Cette réaction est irréversible d'un matériau avec son milieu ambiant, elle implique la dégradation du matériau ou de ses propriétés. La corrosion donne de nouveaux composés initiaux : des oxydes, des sulfates, des carbonates et autres composés naturels, qui sont plus stables thermodynamiquement. [M. Saïde ; M. Dakmouche]

Ces études ont permis de définir les critères d'estimation des pertes en les divisant:

* Les pertes directes comprennent le coût supplémentaire d'emploi d'alliages des métaux résistants à la corrosion.

*Les pertes indirectes sont plus difficiles à connaître.

Des exemples des pertes indirectes sont comme suit: Arrêt d'installation.

Pertes de production, Pertes de rendement. [Kyoisse Mohamed], [Cherfouh Samir]

3/ Types de corrosion :

Le processus de corrosion consiste en une réaction hétérogène chimique ou électrochimique qui se produit à la surface de séparation matériau métallique – milieu ambiant. La corrosion est donc un mode de dégradation progressant à partir de la surface du matériau.

La corrosion peut se développer suivant différents processus qui caractérisent chacun un type de corrosion : [A. Zegloul]

3.1/ Corrosion chimique:

Il s'agit d'une réaction purement chimique entre la surface d'un matériau et un gaz ou un liquide non électrolyte. Par exemple, l'oxydation de l'acier ordinaire à haute température par

l'oxygène de l'air est une corrosion chimique. [A. Zegloul]

3.2/ Corrosion électrochimique:

C'est une réaction électrochimique entre la surface d'un matériau et un liquide électrolytique. Cette réaction est accompagnée de la formation de piles qui sont le siège de circulation de courant électrique. La dégradation de l'aluminium par l'acide sulfurique dilué appartient à ce type de corrosion. [A. Zegloul]

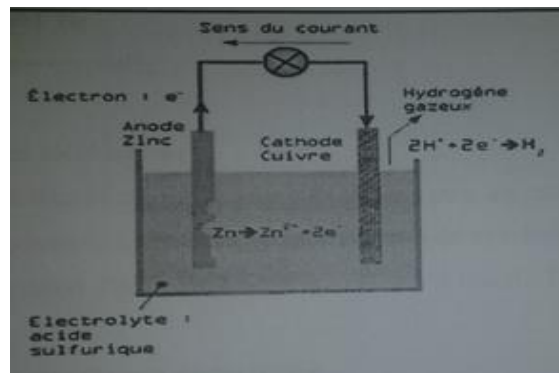
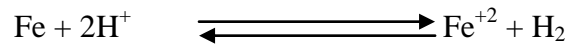


Figure N°08: Exemple de corrosion électrochimique

3.2.1/ L'interaction mécanique de la corrosion électrochimique: La corrosion électrochimique semble commencer à partir du moment de l'équilibre et en particulier si les électrons obtenus par ionisation, sont captés.

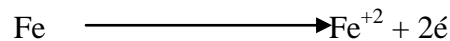
Lorsque les sont capté électrons en présence d'oxygène dans ce cas on parle de la corrosion par de l'oxygène. Lorsque les électrons sont captés par les cations H^+ on parle de la corrosion acide. [ز.حسين]

Lorsque les électrons sont captés par un métal noble on parle de corrosion galvanique. Lorsque on immerger un métal (fer) dans une solution acide H_2SO_4 dilué ne contient pas d'oxygène il découvre a une dégradation acide continu selon l'équation suivante :

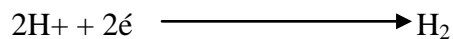


On peut devise cette réaction au deux sou réactions :

Le premier est une réaction d'oxydation c'est-à-dire l'atome de fer donne deux électrons et devient F^{+2} on dit il ya une réaction anodique



Le deuxième est une réaction quand deux protons acceptent les deux électrons de fer pour devient H_2 .



3.3/ Corrosion biochimique: (bactérienne)

C'est l'attaque bactérienne des matériaux métalliques, en particulier dans les canalisations enterrées et les réservoirs. En effet, le métabolisme de développement de certaines bactéries provoque la formation d'acide sulfurique qui attaque le métal. [A. Zegloul]

Elle est complémentaire aux deux types de corrosion précédente en présence de bactérie. La corrosion bactérienne qui associe une corrosion électrochimique à un métabolisme bactérien, elle est accompagnée de dégagement gazeux.

4/ Les différentes formes de corrosion :

La classification de la corrosion suit l'apparence du métal corrodé. Chaque forme peut être identifiée par simple observation visuelle quelque foi l'amplification est nécessaire. Les formes les plus courantes de la corrosion sont indiquées ci-après [Cherfouh Samir].

4.1/ Corrosion généralisée ou uniforme:

La perte du métal est à peu près uniformément répartie sur l'ensemble de la surface exposée au milieu corrosif. Elle se caractérise par une réaction d'oxydoréduction sur la totalité de la surface, et se manifeste par la même vitesse. [B. Boufatah]

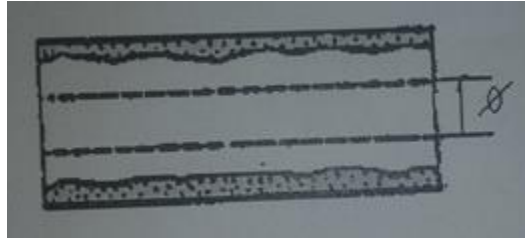


Figure N°09: Corrosion uniforme d'un tube en acier

Prévention:

- * Revêtement métalliques ou organique ;
- * Modification du milieu (action sur le PH, température et le teneur en O₂) ;
- * Elimination de l'élément corrosif et nettoyage ;

4.2/ Corrosion sous tension:

Elle se manifeste sur des pièces soumises à des contraintes mécaniques et superficielles. Elle peut provoquer des fissures profondes même si le milieu environnant n'est pas ou n'est que très peu corrosif. Elle se produit sur la surface, elle est dite aussi corrosion fissurant.

4.3/ Corrosion par piqûres:

Ce type de corrosion se localise en certain points de la surface métallique. Il peut avoir plusieurs origines, par exemple la présence de gouttelettes d'un électrolyte a la surface du métal. La profondeur de la piqûre est par fois exprimé par le terme « Facteur de la piqûre », c'est le rapport de la plus profonde pénétration dans le métal et la moyenne pénétration déterminée par pertes de poids de l'échantillon [B. Boufatah].

C'est une dissolution localisée qui est produite par certains anions agressifs notamment le chlore, sur les surfaces protégées.



Figure N°10: Corrosion par piqûres

Prévention:

*Utiliser les matériaux les plus résistants à la corrosion par piqûre.

*L'addition des éléments améliorant la résistance à la piqûre.

4.4/ Corrosion galvanique:

Corrosion entre deux métaux. Le plus général quand ces deux métaux sont différents, il s'établit une différence de potentiel [Cherfouh Samir]

Elle est due, à un contact entre des métaux de nature différente, exposés au même milieu.

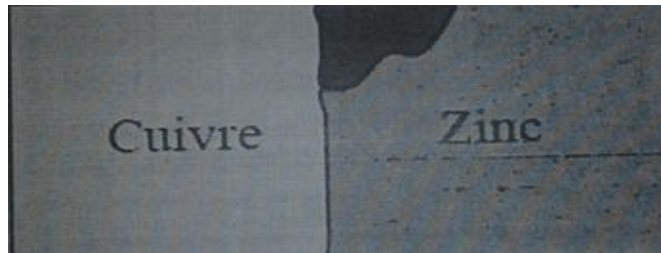


Figure N°11: Corrosion galvanique

Prévention:

- En utilisant avec précaution les revêtements en maintenant le milieu en bon état ;
- En réduisant l'agressivité du milieu (température, ajout d'inhibiteurs) ;

4.5/ Corrosion sélective:

C'est l'oxydation d'un composant d'alliages qui conduit à la formation d'une structure métallique poreuse. [Cherfouh Samir]

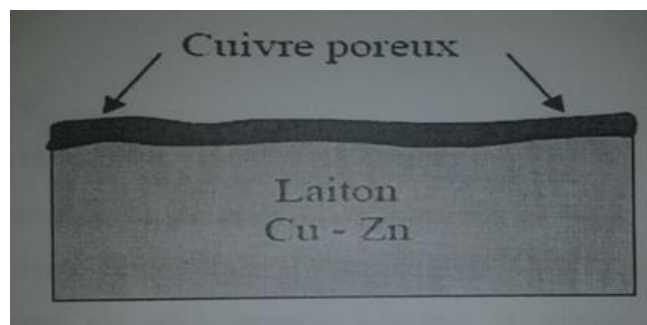


Figure N°12: Corrosion sélective

4.6/ Corrosion - érosion:

Les ions correspondent à une dégradation de la surface sous l'effet d'impacts de particules de gouttelettes, d'un jet ou de l'action d'un écoulement turbulent. La corrosion – érosion implique une accélération ou un accroissement de la vitesse détérioration ou

d'attaque d'un métal en raison du mouvement relatif entre un fluide corrosif et la surface métallique. Le métal est éliminé en surface sous forme d'ions dissous ou encore forme de produit solides de corrosion qui sont mécaniquement balisé de la surface métallique.

4.7/ Corrosion sous contrainte:

C'est une fissuration du métal qui résulte de l'action commune d'une contrainte mécanique et d'une réaction électrochimique. [Cherfouh Samir]

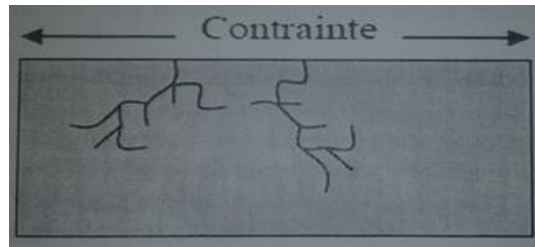


Figure N°13: Corrosion sous contrainte

4.8/ Corrosion inter granulaire:

Elle se manifeste aux joints inter granulaires, elle est due en général à la précipitation d'une phase ou à la formation d'un produit de corrosion au niveau des joints des grains. Ce type de corrosion est particulièrement dangereux car bien que la quantité de métal attaqué soit faible, les caractéristiques mécaniques du métal sont altérées car les fissures ainsi produites affaiblissent le métal [Bechki Lazhar].

4.9/ Corrosion cavitation:

La cavitation est une forme d'attaque par corrosion provoquée par la formation et la réunion de bulles de vapeur dans un liquide au voisinage de la surface du métal sous l'action combinée de la corrosion et l'implosion de bulles de la cavitation. Ces bulles se forment dans les fluides en écoulement turbulent, lorsqu'il existe localement une sous pression: an aval d'un orifice dans une conduite. [Landon It]

4.9.1/ Origine de la dégradation par cavitation: En régime turbulent, la pression locale d'un fluide fluctue. Si par endroits elle devient inférieure à sa pression de vapeur une petite quantité de liquide peut s'évaporer et former une bulle, de diamètre entre quelque micromètre et un millimètre. Ces bulles germent sur des sites particuliers. Les bulles implosent lorsque la pression augmente localement. Ce phénomène produit une onde de choc pendant un temps très court, la pression à la surface du métal peut

donc atteindre une valeur très élevée. La répétition de ce mécanisme induit une fatigue de la surface métallique [**Landon It**].

4.9.2/ Mécanisme de la corrosion - cavitation: La dégradation des métaux par cavitation est avant tout un phénomène mécanique. D'une part une température élevée augmente la pression de vapeur et favorise ainsi cavitation d'autre part la solubilité de l'agent corrosif, en l'occurrence l'oxygène, décroît avec la température diminuant ainsi la vitesse de corrosion.

On a deux mécanismes différents.

- Enlèvement de matière par de passivation - ré passivation.
- Fragilisation du métal par hydrogène.

4.10/ Corrosion électrochimique :

La corrosion électrochimique se produit dans les liquides ou les électrolytes (conducteurs de l'électricité) Beaucoup de liquide comme l'eau ordinaire, l'eau de mer, les acides et d'autres réactifs chimiques sont de bons conducteurs d'électricité [**A. Zeghloul**].

La quantité de courant qui traverse cette pile est proportionnelle à la quantité de métal qui se corrode. Un ampère peut dissoudre environ 9 kg d'acier par an.

Les signes adoptés dans le tableau N°18 sont conformes à ceux des résolutions adoptées en 1953 à Stockholm par l'union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC) : Le potentiel d'un électrode d'un métal est la différence de potentiel métal- électrode de référence, et non l'inverse. Il est ainsi possible d'établir pour chaque métal, la liste des potentiels Normaux-réduction à l'état standard (25°C, 1 bar), soit pour les métaux usuels:

Tableau N°16: Potentiel Normaux – Réduction.

Le métal	Le potentiel en volt
Or Au/Au ⁺³	+1,45 v
Platine Pt/Pt ²⁺	+ 1,2 v
Mercure Hg/Hg ²⁺	+ 0,850 v
Argent Ag/Ag ²⁺	+ 0,7994 v
Cuivre Cu/Cu ²⁺	+ 0,337 v
Hydrogène H/H ⁺¹	0,00 Référence

Plombe	Pb/Pb ²⁺	-0,126 v
Etain	Sn/Sn ⁺²	-0,140 v
Nickel	Ni/Ni ²⁺	-0,230 v
Cadmium	Cd/Cd ²⁺	-0,402 v
Fer	Fe/Fe ²⁺	-0,404 v
Zinc	Zn/Zn ²⁺	-0,762 v
Aluminium	Al/Al ⁺³	-1,660 v
Magnésium	Mg/Mg ²⁺	-2,371 v

4.10.2/ Vitesse de la corrosion : Considérons une lame de fer immergée dans une solution acide.

Ces deux électrodes sont en court circuit (constituées par la même lame de fer) et forme une électrode mixte. La vitesse de dissolution des ions Fe²⁺ (Libération des e⁻ est égal a la vitesse de réduction des ions H⁺ Consommation des e⁻) soit :

$$E_{\text{anode}} = E_{\text{cathode}} = E_{\text{corrosion}}$$

Et

$$I_{\text{oxydation}} = I_{\text{réduction}} = I_{\text{corrosion}}$$

La vitesse de la corrosion de la lame de fer est donnée par la relation de Faraday :

$$\rho_{\text{corr}} = \frac{M_{\text{icorr}}}{NF}$$

ρ : Vitesse de corrosion (g/sec.cm²)

M : Masse atomique (g)

i_{corr} : Densité de courant de corrosion (A/cm²)

N : Nombre d'électron mis en jeu

F : Faraday (96,500 coulombs).

5/ Les facteurs influant sur la vitesse de corrosion :

Dans la pratique, la vitesse de corrosion varie selon plusieurs facteurs tels que : la valeur du PH, la température du milieu,.....etc. **[B. Boufatah]**

5.1/ Influence du pH:

Dans les milieux très acides c'est-à-dire en dessous du (pH = 4.5), la vitesse de corrosion augmente très rapidement, avec un pH compris entre 4.5 et 8.5 la vitesse de corrosion est

pratiquement indépendante de ce dernier. (Voir figure 13). Ce n'est que dans les milieux très alcalins (à partir d'un pH = 8.5 jusqu'à 12) que la vitesse de corrosion diminue considérablement d'autant plus que le pH augmente.

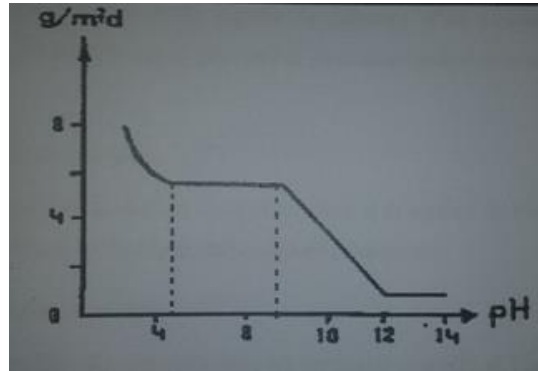


Figure N°14: Influence du pH sur la vitesse de corrosion.

5.2/ Effet de la température:

La température affecte à la solubilité de CO₂ dans l'eau et la stabilité des couches de carbonate. On estime que les taux de corrosion maximum se rencontrent dans la fourchette 60-80°C. [B. Boufatah]

5.3/ Influence de la teneur en CO₂:

La vitesse de corrosion par CO₂ dépend de la teneur en CO₂ c'est-à-dire de la pression partielle de CO₂ dans les gaz associés : [B. Boufatah]

$$PCO_2 = P \text{ totale} \times \text{pourcentage molaire de CO}_2$$

On admet généralement que :

- Pour $PCO_2 < 0.5 \text{ bar}$: pas de corrosion.
- Pour $0.5 \text{ bar} < PCO_2 < 2 \text{ bar}$: corrosion possible.
- $PCO_2 > 2 \text{ bars}$: corrosion rapide.

6/ Cinétique de la corrosion :

6.1/ La polarisation:

La polarisation exprime l'écart entre le potentiel d'une électrode mixte polarisée et son potentiel mixte au repos c'est-à-dire le potentiel de corrosion. [M. Saïde ; M.

Dakmouche]

$$\Pi = E - E_{\text{corr}}$$

Une polarisation non nulle signifie la présence d'un courant global anodique si la polarisation est positive ou la présence d'un courant global cathodique si la polarisation est négative.

6.2/ Transfert de masse:

C'est le transfert de matière entre la solution et la surface de l'électrode, c'est l'apport de réactif à l'électrode ou le départ du produit de l'électrode.

6.3/ Transfert de charge:

C'est le transfert des électrons entre les particules chargées et l'électrode, ce phénomène se produit à la surface de l'électrode.

6.4/ La migration:

La migration est le déplacement des ions sous l'effet du champ électrique dans un gradient de potentiel électrique.

6.5/ Courbe de polarisation:

La vitesse des réactions d'électrode dépend du potentiel, elle varie linéairement avec la densité de courant selon la loi de Faraday. La densité du courant mesurée en fonction du potentiel donne la courbe de polarisation. Selon la méthode employée, contrôle du potentiel – contrôle courant, on obtient respectivement les courbes de polarisation potentiostatique $i = f(E)$ ou galvanostatique $E = f(i)$. [M. Saïde ; M. Dakmouche]

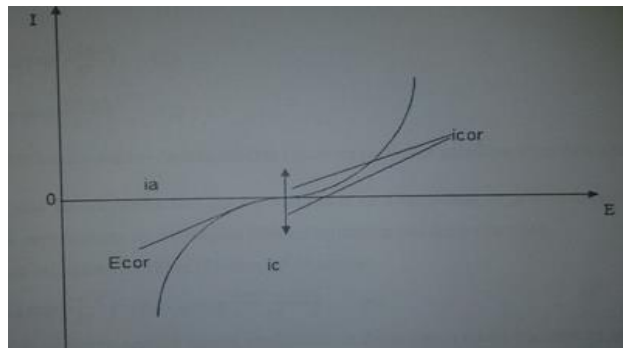


Figure N°15: Courbes de polarisation.

6.6/Condition principale pour la corrosion d'un métal:

Pour qu'un métal se corrode, le milieu doit contenir un agent oxydant, tel que le potentiel d'équilibre de la réaction anodique (E_a) est supérieur au potentiel de réaction cathodique E_c : $E_a > E_c$

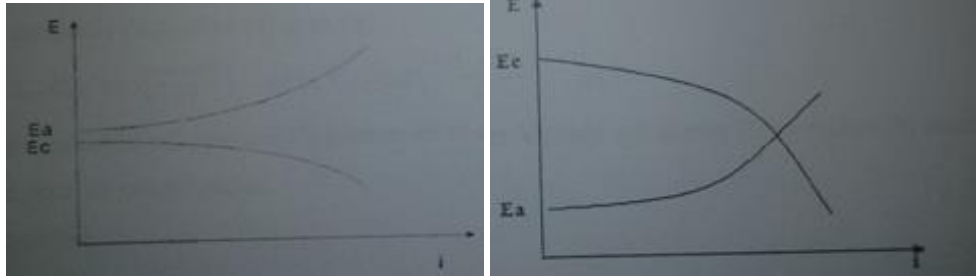


Figure N°16: Courbe non corrosive, figure N°17: Courbe corrosive

7/ Lutte contre corrosion :

7.1/ Protections passives:

Une canalisation enterrée véhiculant un fluide se trouve au contact avec des milieux corrosifs, tant pas sa paroi intérieure qu'extérieure. Le rôle de revêtement est d'assurer une protection efficace et de longue durée de ces parois [A. Dautheville].

7.1.1/ Isolement électrique: Vans en 1935 montré que la corrosion est le résultat des phénomènes électrochimique entre le métal et le milieu ambiant, pour s'opposer à ces phénomènes, on doit donc constituer un bon isolant électrique [A. Dautheville].

7.1.2/ Revêtements minces:

*Par goudrons: Les goudrons utilisés dans ce cas sont obtenus par distillation partiels goudrons bruts à chaud vers 100°C

*Par vernis: l'application peut être faite à la température ambiante au pistolet

*Par revêtement à base de zinc: Le revêtement de zinc crée une protection par effet galvanique, le fer accidentellement mis à un en contact à la fois avec le zinc et un électrolyte retrouve porte à un potentiel voisin de celui du zinc [A. Dautheville].

7.1.3/ Revêtement épais: Le revêtement dit épais est réalisé à l'aide des liants hydrocarbonés

Dérivés des goudrons de houille ou des bitumes de pétrole que nous avons décrits précédemment. Ils sont souvent désignés sous le nom de mailles bitumineux. Ils présentent généralement une épaisseur de 2 à 4 mm. Un revêtement comprend normalement les différentes parties ci-après.

a) Une couche primaire (la d'inhérence du revêtement): Appliquée sur la surface de la conduite.

b) Une couche protectrice proprement dite: elle est constituée par le liant hydrocarboné appliqué à l'état liquide après fusion.

c) **L'armature:** celle-ci est noyée au sein de la couche de revêtement a fin de la renforcer mécaniquement. Elle joue ainsi un rôle analogue a celui des fers pour le béton.

d) **La protection extérieure:** suivent le cas celle-ci est constituée soit d'une couche complémentaire de feutre d'amiante ou de papier kraft, soit d'un badigeon blanc pour protéger le revêtement du rayonnement solaire [A. Dautheville].

7.1.4/ Revêtement par bande plastique: Les bandes constituent un revêtement préfabriqué que l'on enroule à froid autour de la canalisation.

7.2/ Protection actives:

7.2.1/ Soutirage de courant : Généralement on ne dispose que de courant alternatif il est dans nécessaire de transformer le courant alternatif du secteur bas tension en courant continu à l'aide d'appareils dite:(redresseurs) le circuit électrique se constitue alors ainsi la borne (+) de sortie de redresseur est reliée à une masse sacrificielle et sur laquelle la corrosion sera reportée. Borne (-) correspondante est reliée au réseau de la conduite à protéger [G. Poirier].

7.2.2/ Drainages de courant: Lorsque la corrosion des canalisations reproduit ou risque de se produite, en raison, du voisinage d'installation susceptible d'émettre des courants vagabonds, il est quelque fois possible d'écarter tout danger en raccordant ou électriquement les conduites au pole négatif de la génératrice créant le désordre atout structure reliée a celui-ci. [G. Poirier]

7.3/ Protection cathodique:

7.3.1/ Principe de la protection cathodique: La protection cathodique à pour objet d'abaisser le potentiel de la surface du métal en contact avec le milieu électrique extérieur au-dessous d'un seuil de potentiel à partir du quel l'oxydation du métal devient négligeable. Le principe est d'amener la surface totale de la structure à protéger à être cathode par rapport à une anode qui servira comme pièce de consommation. [G. Poirier]

7.3.2/ Protection par anode sacrificielle: Ce mode de protection est basé sur la création d'une pile galvanique dont la pièce a protéger sera la cathode de la pile et la pièce a consommer sera l'anode. Dans notre cas l'anode à mettre en place sera un métal dont le potentiel normal apparent sera plus électronégatif par rapport à la conduite à protéger qui joue le rôle de cathode. Si l'on veut constituer une pile dent le fer soit cathode, on ne peut

l'associer qu'avec trois métaux industriels, pris comme anodes, le zinc l'aluminium, le magnésium.

8/ Les méthodes de protection contre la corrosion :

Pour lutter contre la corrosion il ya différents types de solutions, on distingue [M. Saide ; M. Dakmouche]:

8.1/ Prévention par une forme adaptée des pièces:

En donnant une forme adaptée aux objets, le constructeur contrôle la durée de vie de la pièce de façon déterminante. [M. Saide ; M. Dakmouche]

8.2/ Prévention par le choix des matériaux:

Le comportement vis-à-vis de la corrosion est un critère primordial que l'ingénieur doit prendre en considération lors du choix des matériaux. [M. Saide ; M. Dakmouche]

Tableau N°17: Résistance de quelques métaux [D. Landolt]

	Fe	Cr	Ni	Cu	Al	Zn
Air humide	+	+	+	+	+	m
Eau froide Naturelle aérée	m	+	+	+	-	+
Eau de mer	-	+	+	m	m	-
Acide non oxydant	-	m	m	+	-	-
Acide oxydant	-	+	m	-	-	-
Acide + Cl⁻	-	+	m	-	-	-
Base + O₂	+	+	+	+	-	-
Oxydation à haute température	m	+	+	-	-	-

+ : bonne résistance ; m : résistance moyenne ; - : mauvaise résistance

8.3/ Protection par les revêtements :

Les revêtements sont des couches protectrices utilisées pour protéger la surface du métal, il existe différents types de revêtements qui sont : [M. Saide ; M. Dakmouche]

8.3.1/ Revêtements métalliques: Les métaux sont recouverts par d'autres métaux de différentes manières. Pour chaque méthode, il existe souvent une grande variété de techniques. L'acier peut être traité, en prenant comme exemple des pièces en acier qui peuvent être trempées à chaud dans du zinc ou chauffées avec de la poudre de zinc.

[M. Saïde ; M. Dakmouche]

8.3.2/ Revêtement chimique: On produit les revêtements chimiques par anodisation, dans ce processus on produit le revêtement, généralement un oxyde sur une surface de métal de façon à ce que le métal soit une anode dans une pile contenant un électrolyte.

[M. Saïde ;M. Dakmouche]

8.3.3/ Revêtement organiques: Il existe une grande variété de revêtements organiques parmi lesquels les polymères et les peintures, ces revêtement limitent ou empêchent l'accès du milieu corrosif au métal et sont souvent faciles à appliquer. L'utilisation des oxydes de zinc et le carbonate de calcium comme des additifs à la peinture, fait diminuer la perméabilité du revêtement. . [M. Saïde ; M. Dakmouche]

9/ Inhibiteurs de corrosion :

9.1/ Définition:

On appelle inhibiteur de corrosion toute substance qui ajoutée en très petite quantité dans le réactif permet de diminuer ou d'annuler la corrosion de métal.

Elle ne modifie donc pratiquement pas la nature ni la concentration du milieu, les inhibiteur s'agissent en créant une barrière entre le métal et le réactif. Ils se fixent à la surface du métal sous une forme qui dépend de leur nature, on peut définit 3 types.

9.1.1/ Premier type: Inhibition par formation d'un précipité insoluble dans le milieu agressif à la surface du métal.

L'inhibiteur réagit avec l'un des produits de la réaction de corrosion (cathodique ou anodique) pour former un précipité anionique. [Manuel de traitement des eaux]

9.1.2/ Deuxième type: Inhibition par formation ou accroissement d'un film d'oxyde à la surface du métal.

Dans le cas des milieux acides, cet inhibiteur est utilisé afin de former un filmes sur la surface du métal, qui a le roll d'accroître le potentiel du métal, pour tracer une barrière électrique contre le milieu oxydant. [Manuel de traitement des eaux]

9.1.3/ Troisième type: Inhibition par adsorption de l'inhibiteur à la surface du métal.

Ce mode d'action est spécifique des inhibiteurs organiques : une couche mono moléculaire d'inhibiteur s'adsorbe à la surface du métal et supprime le contact avec le milieu agressif. L'adsorption est fonction de la nature chimique le l'inhibiteur, elle peut donc se faire soit sur les sites anodiques, soit sur les sites cathodiques, mais généralement

les inhibiteurs organiques sont des types cationiques, toutefois, il est fréquent qu'une réaction anodique ce manifeste en même temps que réaction cathodique. **[Manuel de traitement des eaux]**

9.2/ La protection par les inhibiteurs:

Un inhibiteur de corrosion est un composé chimique qui, ajouté à faible concentration au milieu corrosif, ralentit ou stoppe le processus de corrosion.

On classe les inhibiteurs selon leur mode d'action, à inhibiteurs cathodiques et mixtes.

[M. Saide ; M. Dakmouche]

9.2.1/ Les inhibiteurs anodiques: Ils diminuent la densité de courant partiel anodique et déplacent le potentiel de corrosion dans le sens positif. **[D. Landolt]**

9.2.2/ Les inhibiteurs cathodiques: Ils diminuent la densité de courant partiel cathodique et déplacement le potentiel de corrosion dans le sens négatif. **[D. Landolt]**

9.2.3/ Les inhibiteurs mixtes: Ils diminuent la vitesse des deux réactions partielles, mais il ne modifie que le potentiel de corrosion. **[D. Landolt]**

9.3/ Classification des différentes familles d'inhibiteur:

9.3.1/ Les organo-phosphonates: Les organo-phosphonates caractérisés par un on plusieurs groupements fonctionnels associés à un radical organique. Ces produits manifestent une susceptibilité moindre à l'hydrolyse. Les organo-phosphonates sont utilisés sous formes d'acide ou sous forme totalement ou partiellement salifiée, en général par Na^+ , K^+ , NH_4^+ , un grand nombre de ces composés possède un pouvoir tartrifuge vis-à-vis des carbonates de calcium, c'est ainsi que FLEZCH et NEWMAN [3] donnent pour un certain nombre de ces composés les concentrations seuil, suivant le tableau (18).

Tableau N°18: Récapitulatif des effets inhibiteurs des différents composés de phosphore.

[H. Roques]

Inhibiteur	Concentration Seuil
Glycophate	10-3 à 10-4 mol/L
ADP (Adinozme di phosphate)	10-4 à 10-5 mol/L
ATP (Adinozme triphosphate)	10-3 à 10-4 mol/L
Trimetaphosphate	10-4 à 10-5 mol/L

Pyrophosphate	10-5 à 10-6 mol/L
Hexametaphosphate	Inférieur à 10-7 mol/L
Thiamine pyrophosphate	10-3 à 10-4 mol/L
Tripolyphosphate	10-3 à 10-4 mol/L
Longue chaîne de poly phosphate	Inférieur à 10-7 mol/L

9.3.2/ Les conduites condensées: Il existe trois types des phosphates condensés:

- Poly phosphate (accumulation linéaire de phosphates PO_4^{3-})
- Ultra phosphate (accumulation dispersée de phosphates PO_4^{3-})
- Méta phosphate (accumulation suivant l'état cyclique des phosphates PO_4^{3-}).

***Chapitre (4):
prélèvement des
échantillons et
méthodologies
appliquées***

I. Introduction :

Prélèvement d'eau est manuel, l'échantillon est prélevé dans une Bouteille en plastique.

Avant son remplissage, la bouteille est rincée par le H_2SO_4 et l'eau distillée.

Les paramètres physico-chimiques de l'eau, avant et après traitement, ont été déterminés au laboratoire d'Algérienne des eaux d'Ouargla. Les analyses ont été effectuées selon les méthodes décrites par suite [ADE]

II. Techniques des mesures :

1/ Les paramètres physiques :

1.1/ Mesure d'électro métrique du pH avec l'électrode :

- **Objet:** Ce protocole opératoire a pour objet la description de la mesure du pH des eaux par une méthode potentiométrique à l'aide d'une électrode au platine combinée à une sonde de température.
- **Domaine d'application:** le pH est mesuré avec une température entre 0 et 60° et la valeur de pH entre 3 et 10.
- **Principe:** le pH en relation avec la concentration des ions hydrogène (H^+) présent dans l'eau ou les solutions.

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence. Plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de celle-ci. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H^+ .

- **Echantillonnage:** Prendre environ=100 ml d'eau à analyser

Rincer l'électrode dans échantillon on lie le PH avec une simple touche sur READ

Appareil : pH Mètre



Figure N°18: Le pH mètre

Réactifs : Tampon pH =10, Tampon pH =7, Tampon pH =4

• Méthode de travail:

- Etalonnage de l'appareil :

* Allumer le pH Mètre.

- * Prendre dans un petit bécher, la solution tampon pH=4
- * Touche sur Read attendre quelque temps pour lire
- * Rincer l'électrode avec de l'eau distillée.
- * Faire la même étape avec la solution tampon pH=7 en contrôle le pH mètre.
- Calibrage de l'appareil:
- * Appuyer sur la touche (CAL)

Introduire l'électrode rincée avec l'eau distillée dans la solution tampon de pH 4,01 et appuyer sur la touche (Read Enter), Les valeurs de pH et température évoluent jusqu'à se stabiliser.

Dès que la valeur est stabilisée ou acceptée, on passe à l'étalon n°2.

Rincer l'électrode. La place dans la troisième solution tampon de pH 7,00 et appuyer sur la touche (Read Enter).

Dès que les valeurs de pH et température sont stabilisées, on passe à l'étalon n° 3.

Rincer l'électrode, la placer dans la troisième solution d'étalon de pH 10,00 et appuyer sur (Enter).

Dès que la valeur du pH est acceptée, la valeur de la pente et les icônes «store» s'affichent.

Il faut vérifier que la valeur de la pente S est bien située dans les limites spécifiées dans le manuel de l'électrode ($S = - 58 \pm 3 \text{ mV à } 25^\circ\text{C}$).

Si la valeur de la pente respecte ces limites, appuyer sur (Enter) pour sauvegarder la valeur. Sinon, appuyer sur (1/0 Exit) et refaire la calibration.

A la fin de la calibration, rincer l'électrode avec de l'eau distillée et passer en mode lecture

- **Contrôle de qualité** : Le pH d'échantillonnage doit être entre 6.5 et 8.5
- **Mesures de sécurité** : L'utilisation de gants
- **Remarque** : PH : potentiel Hydrogène

1.2/ Mesure de la conductivité électrique :

- **Objet** : Ce protocole opératoire décrit la méthode de mesure de la conductivité en utilisant par exemple un conductimètre électrique, la conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1cm.

Elle est l'inverse de la résistivité électrique.

L'unité de conductivité est le siemens par mètre(S/m)

La conductivité électrique d'une eau s'exprime généralement en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$). La relation entre la résistivité et la conductivité est la suivante.

$$\text{Résistivité } (\Omega \cdot \text{cm}) = \frac{1000000}{\text{conductivité } (\mu\text{S}/\text{cm})}$$

- **Domaine d'application** : Ce protocole s'applique à la mesure de la conductivité électrique d'effluents de toutes natures (eau potable, eau usées urbaines et industrielles, eau de mer, etc.). La limite de mesure, liée à l'électrode, est précisée par le fabricant de l'appareil (de l'ordre de 1000 milli siemens/cm).
- **Principe** : Mesure de la conductance électrique d'une colonne d'eau délimitée par deux électrodes de platine (pt) (ou couvertes de noir de platine) maintenues parallèles.

Si R est la résistance de la colonne d'eau en OHMS.

Sa section en cm et l sa longueur en cm.

La résistivité électrique en micro-cm est ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

$$P = R \frac{S}{l}$$

La conductivité électrique en S/cm est :

$$V = \frac{1}{P} = \frac{1}{R} \cdot \frac{l}{S}$$

$\frac{l}{S}$: est appelé constante de l'élément de mesure.

- **Echantillonnage** : En pondre 100 ml de l'échantillon qui été prélevé dans une bouteille en polyéthylène dans un bêcher, la mesure de la conductivité doit être faite rapidement (dans la journée si possible).

De référence de 25,0 C° avant la mesure de la conductivité. Aucun agent de conservation satisfaisant n'est connu pour les échantillons prélevés en vue d'une mesure de conductivité.



Figure N°19: La conductivité mètre.

- **Méthode de travail :** On rince l'électrode dans la solution. On taper sur Read, attendre quelque minute

Le résultat conductivité est donné directement en $\mu\text{S}/\text{cm}$ on à la salinité et TDS

- Etalonnage de l'appareil :

- * Allumer conductivité Mètre.

- *Prendre dans un petit bêché, la solution de calibrage

- *Touche sur Read attendre quelque temps pour lire

- *La conductivité, TDS, et salinité

- *Si la conductivité, TDS et salinité sont Our la norme, il faut calibrer l'appareil

- Calibration de l'appareil : Le calibrage de l'appareil se fait par l'intermédiaire de la solution étalon (chlorure de potassium) de référence de $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$. Cette opération se fait usuellement à une fréquence mensuelle.

Appuyer sur la touche CAL en mettant l'électrode à l'air libre,

Le résultat $0,00 \mu \text{ S}/\text{cm}$ s'affiche directement sur l'écran de l'appareil.

Appuyer sur la touche CAL une deuxième fois en plaçant l'électrode dans l'étalon de $1000 \mu \text{ S}/\text{cm}$. Le résultat s'affiche directement sur l'écran de l'appareil.

Reporter le résultat sur la fiche de contrôle.

- **Contrôle de qualité :** La vérification de l'appareil se fait quotidiennement avec un étalon référence ($1000 \pm 10 \mu \text{ S}/\text{cm}$, de TDS $49 \pm 2,5$)

- **Mesures de sécurité :** L'utilisation de gants

- **Remarque :** Con : conductivité électrique

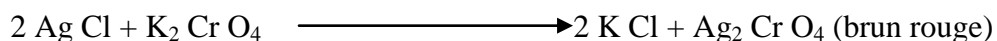
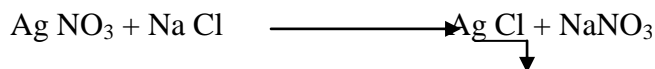
TDS : taux des sales dissous

Sal : salinité

2/ Les Paramètres Chimiques :

2.1/ Détermination des chlorures (Cl⁻) :

- **Objet :** Détermination de la concentration des chlorures en mg/l dans un échantillon donné.
- **Domaine d'application :** Cette méthode titrimétrie au dosage direct des chlorures à des concentrations variant entre 5 jusqu'à 400 mg/l si on utilise une burette d'une capacité plus grande, ou en diluant l'échantillon. En raison de nombreuses interférences, cette méthode n'est pas applicable à des eaux fortement polluées, à faible teneur en chlorures. Dans le cas des concentrations élève-t-on diluée l'échantillon.
- **Principe :** Réaction des ions chlorure avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9,5 afin de permettre la précipitation. Le dosage, des chlorures est réalisé par titrage au nitrate d'argent (Ag NO₃) en utilisant du dichromate de potassium (K₂ Cr O₄) comme indicateur.



• Réactifs :

- Solution de nitrate d'argent à 0,01N :

4.7791 g d'Ag NO₃ —————> 1000 ml d'eau distillée

- Indicateur coloré K₂ CrO₄ à 10% :

10g de K₂CrO₄ —————> Q.S.P 100 ml d'H₂O dist.

- Solution de chlorures à mg/l :

1.648g de NaCl.....1000 ml d'eau distillée.

• **Echantillonnage :** En pondre 100 ml de l'échantillon de l'échantillon qui été prélevé dans une bouteille en polyéthylène

• **Méthode de travail :** On prendre trois fioles

*La pris d'essais c'est 100 ml.

*100 ml de l'eau distillé (blanc).

*90 de l'eau distillé + 10 ml de NaCl (titre).

*25 ml de l'eau a analyse complète à 100 ml de l'eau distillé (l'échantillon).

*Ajouter 1 ml dans chaque fiole de K_2CrO_4 (coloration jaunâtre).

*Titre avec $AgNO_3$ à 0.0282 N jusqu'à coloration brun rougeâtre.

• **Expression des résultats :**

$$[Cl^-] = [(V_a - V_b)/100] * F * D * C * 10/V_s$$

100 pris d'essai.

V_a : Volume d' $AgNO_3$ nécessaire pour le dosage de l'échantillon.

V_s : Volume d' $AgNO_3$ nécessaire pour le dosage de titre.

V_b : Volume d' $AgNO_3$ nécessaire pour le dosage le blanc.

D : facteur de dilutions.

F : facteur de correction du titre d' $AgNO_3 = 35453^*$.

C : Concentration réel de $AgNO_3 = 0.0282$ mg/l.

• **Mesures de sécurité :** L'utilisation de gants, et masc.

• **Remarque :** Dans les cas de grand concentration il faut des dilutions.

2.2/ Détermination Du calcium (Ca^{2+}) et du magnésium (Mg^{2+}) et la dureté (TH) :

• **Objet :** Déterminer la somme des concentrations en calcium et magnésium d'une eau.

• **Domaine d'application :** La méthode est applicable pour les eaux souterraines, les eaux de surfaces, les eaux destinées à la consommation humaine. Elle peut aussi être utilisée pour les eaux résiduaires urbaines et les eaux brutes industrielles, à condition qu'elles ne contiennent pas de métaux lourds en quantités interférentes.

La méthode n'est applicable aux de mer et eaux du même type à forte teneur en sels.

• **Principe :** Titrage molaire des ions calcium et magnésium avec une solution de sel disodique de l'acide éthylène, diamine tétra acétique (EDTA) à pH 10. Le noir eriochrome T, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur.

• **Réactifs :**

- Solution d'EDTA N/50 ($C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8 \cdot 2H_2O$) : (0.02N ou 0.01M)

➤ EDTA..... 3.725 g. après déshydratation à 80°C pendant 2h.

➤ H₂O distillée q.s.p 100 ml.

HSN : 0.2 g de acide de Calcon carboxylique + 100 g de NaCl (C₂₁ H₁₄ N₂O₇, 3H₂O + NaCl)

- Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 2N :

➤ NaOH (pastilles)..... 8 g.

➤ H₂O distillée q.s.p 1000 ml.

- Solution tampon (NH₄Cl) pH = 10.1 :

➤ Chlorure d'ammonium 67.5 g

➤ NaOH (25%) 570 ml.

➤ Sel disodique de magnésium E.D.T.A (C₁₀H₁₂N₂O₈Na₂Mg) 5g.

➤ H₂O distillée q.s.p 1000 ml.

➤ Noir eriochrome 0.5 g.

➤ Ethanol 25 ml.

• **Echantillonnage** : En pondre 100 ml de l'échantillon de l'échantillon qui été prélevé dans une bouteille en polyéthylène.

• **Méthode de travail:**

➤ Prendre 50 ml d'eau à analyser.

➤ Ajouter 2 ml de NaOH à 2 N.

➤ Ajouter du HSN 0.2 g.

➤ Et titre avec l'EDTA jusqu'au virage (bleu).

➤ Pour calcule TH on prendre 50 ml d'eau à analyser.

➤ Ajouter 4 ml de solution tampon.

➤ Ajouter trois goûts de noir eriochrome.

➤ Et titre avec l'EDTA jusqu'au virage (bleu).

• **Expression des résultats:** La détermination du mg/l de Calcium est donnée par la formule suivante :

$$mg/l Ca^{+2} = \frac{V_1 * C_{EDTA} * F * M_{Ca^{2+}}}{P.E} * 1000$$

D'où :

V_1 : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

C : Concentration molaire d'EDTA (0.01 M/l).

$M_{Ca^{2+}}$: Masse molaire du calcium en g.

P.E : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).

F : Facteur.

$$mg/l Ca^{2+} = \frac{V_1 * 0.01 * F * 40.08}{50} * 1000$$

Donc :

$$mg/l Ca^{2+} = V_1 \times F \times 8.016$$

La détermination du mg/l de dureté est donnée par la formule suivante :

$$TH = \frac{V_2 \times C_{EDTA} \times F \times 100}{FE} \times 1000 \quad (\text{mg/l de CaCO}_3)$$

$$TH = \frac{V_2 \times 0.01 \times F \times 100}{50} \times 1000 \quad (\text{mg/l de CaCO}_3).$$

Avec :

V_2 : volume totale d'EDTA.

C_{EDTA} : concentration molaire d'EDTA (0.01 m/l).

F : facteur.

PE : prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).

La détermination du mg/l de Magnésium est donnée par la formule suivante :

$$mg/l Mg^{2+} = \frac{(V_2 - V_1) * C_{EDTA} * F * M_{Mg^{2+}}}{P.E} * 1000$$

D'où :

V_2 : Volume total d'E.D.T.A.

V_1 : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

C : concentration molaire d'EDTA (0.01M/l).

$M_{Mg^{2+}}$: Masse molaire du Magnésium en g.

P.E : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage)

F : Facteur.

$$mg/l Mg^{2+} = \frac{(V_2 - V_1) * 0.01 * F * 24.3}{50} * 1000$$

Donc :

$$mg/l Mg^{2+} = (V_2 - V_1) \times F \times 4.86$$

- **Mesures de sécurité :** L'utilisation de gants, et masc.
- **Remarque:** Dans les cas de grand concentration il faut des dilutions

2.3/ Détermination de l'alcalinité (HCO₃⁻) :

- **Objet :** Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser aux niveaux de pH 8.3 et 4.3 le volume d'eau à analyser.

La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC).

- **Domaine d'application :** La présente norme a pour objet de déterminer l'alcalinité d'une eau par la mesure du titre alcalimétrique (TA) et du titre alcalimétrique complet (TAC).

Elle comporte la description d'une méthode volumétrique applicable dans tous les cas où la présence de substances qui tamponnent les ions hydrogène dans les zones de PH 4.3 et 8.3 n'est pas à craindre, elle est mise en œuvre à l'aide d'un PH-METRE.

- **Principe:** Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux niveaux de pH=8.3 et 4.3, le volume d'eau à analyser. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC).

- **Réactifs :**

- Solution d'acide sulfurique (H₂SO₄) à N/50 :
 - (H₂SO₄) à N/50 (0.5 ml de (H₂SO₄)...dans 1000 ml de l'eau distillé
- Solution de NaOH de N/50 (0.8g dans 1000 ml de l'eau distillé):
 - Méthyle orange (0.5 g dans 100 ml de l'eau distillé)

- **Echantillonnage :** En pondre 100 ml de l'échantillon qui été prélevé dans une bouteille en polyéthylène

- **Méthode de travail :** On prendre trois fioles

- * La pris d'essais c'est 100 ml.
- * 100ml de l'eau distillé (blanc).
- * 90 ml de l'eau distillé + 10 ml de NaOH (titre).
- * 25 ml de l'eau a analyse et complété a 100 ml d'eau à analyser, on titre les trous avec H₂SO₄ jusqu'au virage rouge brique.

• **Expression des résultats :**

$$TAC = [V_a - V_b] * T * D \text{ en (F}^\circ\text{)}$$

V_a : volume de H₂SO₄ pour titrer l'eau a analyse.

V_b : volume de H₂SO₄ pour titrer blanc.

T : (10/volume de H₂SO₄ pour titrer le titrer.

D : facteur de dilution.

1F°=10mg/l de CaCO₃.

La concentration de HCO₃⁻ = TAC * 12.2.

• **Détermination de TA :** Prélever dans un erlenmeyer 100ml d'eau à analyse: ajouter 1a
2

Goutter de solution phénophtaléine ; une coloration rose doit alors se développer dans le cas contraire le TA et nulle ce que se produit en générale pour les eaux naturelles dans le PH est inferieur à 8.3 : verser en suite l'acide dans l'erlenmeyer ale aide d'une burette en agitant constamment et ceci jusqu' à décoloration complète de la solution (PH = 8.3)

V le nombre on ml d'acide pour le virage.

- Si le PH de l'échantillon est inférieur à 8.3 : le TA=0.
- Si le PH de l'échantillon est supérieur à 8.3.

TA = V/5 exprime le titre alcalimétrique en milliéquivalent par litre.

V : exprime le titre alcalimétrique en degré français (en 1F°=10mg de carbonate de calcium

(CaCO₃) OÙ 0.2 méq/l)



Il existe donc un équilibre de saturation du CaCO₃ et un PH de saturation du CaCO₃ puisque le PH dépend du rapport.

CO₂ libre
CO₂ des hydrogénocarbonates

$$[OH^-] = \frac{5 \times 10^{-10}}{[H^+]} \quad (\text{mg/L de CaCO}_3)$$

$$[CO_3^{--}] = \frac{5.61 \times 10^{-6}}{[H^+]} \times \frac{\frac{TA}{50000} + [H^+] - \frac{10^{-14}}{[H^+]}}{1 + \frac{11.22 \times 10^{-11}}{[H^+]}} \quad (\text{mg/L de CaCO}_3)$$

$$[CO_3H^-] = 50000 \frac{\frac{TA}{50000} + [H^+] - \frac{10^{-14}}{[H^+]}}{1 + \frac{11.22 \times 10^{-11}}{[H^+]}} \quad (\text{mg/L de CaCO}_3)$$

$$[CO_3H^+] = 50000 \frac{\frac{TA}{50000} + [H^+] - \frac{10^{-14}}{[H^+]}}{1 + \frac{11.22 \times 10^{-11}}{[H^+]}} \quad (\text{mg/L de CaCO}_3)$$

$$[CO_2]_{\text{libre}} = 9.70 \times 10^{-10} \times [H^+] \frac{\frac{TA}{50000} + [H^+] - \frac{10^{-14}}{[H^+]}}{1 + \frac{11.22 \times 10^{-11}}{[H^+]}} \quad \left(\frac{\text{mg}}{\text{L de CaCO}_3}\right)$$

- **Mesures de sécurité :** L'utilisation de gants et masc.
- **Remarque :** Dans les cas de grand concentration il faut des dilutions.

3/ les paramètres de spectrophotomètres a flamme :

3.1/ Dosage de sodium et de potassium par photométrie de la flamme :

- **Objet :** La photométrie de la flamme est un des procédés les plus rapide et sensibles connus aujourd'hui pour le dosage des éléments alcalins et alcalino

Les éléments à analyser (sodium, potassium, lithium, calcium etc. ...) sont généralement sous forme de sels. L'analyse se fait en partant de leurs solutions.

• **Principe :** Cet appareil fonctionne par la loi de Lambert

• **Echantillonnage:** En pondre 100 ml de l'échantillon de l'échantillon qui a été prélevé dans une bouteille en polyéthylène.

L'appareil utilisé est à la figure suivante :



Figure N°20: spectrophotomètre à flamme

• **Méthode de travail:** Il faut le suivre étape par étape :

- Allumer l'appareil à l'aide du bouton vert (Power).
- Ouvrir le robinet de la bouteille du gaz.
- Allumer la flamme à l'aide du bouton noir « IGNITION » sans lâcher le doigt jusqu'à l'affichage « FLM » en rouge sur l'écran.
- Pipeter de l'eau distillée remplie dans une cuvette.
- Optimiser la flamme si elle est jaune à l'aide du bouton « fuel » jusqu'à ce que la couleur devienne bleu violacée ;
- Optimiser à zéro à l'aide du bouton « Blank ».
- Laisser se stabiliser 5 à 10 minutes.
- Une fois qu'elle se stabilise à zéro, activer la cuvette d'eau distillée et la remplacer par une autre cuvette remplie par une solution étalon de Na^+ ou du K^+ à 10 mg/l.
- Optimiser à 10 mg/l à l'aide du bouton « FINE »

- Retirer la cuvette remplie par une solution étalon de « Na⁺ » ou de « K⁺ » à 10 mg/l et la remplacer par une cuvette remplie d'eau distillée et vérifier si l'écran affiche zéro (0.000).
- Retirer la cuvette remplie par l'eau distillée et la remplacer par une cuvette remplie par une solution étalon de « Na⁺ » ou de « K⁺ » à 10 mg/l et vérifier si l'écran affiche (10).
- Retirer la cuvette et la remplacer par une autre cuvette remplie d'eau distillée.
- A la fin, passer aux échantillons inconnus jusqu'à ce que la valeur affichée sur l'écran soit stable (3 essais pour chaque échantillon).

A la fin du dosage et par mise de la sécurité, il faut toujours fermer la bouteille de gaz propane en premier lieu ensuite l'appareil et la pompe.

• **Préparation des étalons :** Solution fille de sodium (Na⁺) à 10 mg/l de la solution mère de NaCl à 1000 mg/l dans 100 ml d'eau distillée.

(2.54 g de NaCl 1000 cc d'H₂O distillée : solution mère de Na⁺ à 1g/l).

Solution fille de potassium (K⁺) à 10 mg/l : 1 ml de la solution mère de KCl à 1 g/l dans 100 ml d'eau distillée.

(1.91 g de KCl 1000 cc d'H₂O distillée : solution mère de K⁺ à 1 g/l).

• **Expression des résultats :** Le résultat est donné directement en mg/l.

• **Mesures de sécurité :** L'utilisation de gants, et masc.

• **Remarque :** Dans les cas de grand concentration il faut des dilutions ;

Avant de doser le sodium (Na⁺) il faut toujours vérifier les valeurs de la « conductivité » car cette dernière a un rapport proportionnel à la dilution, c'est-à-dire plus que la conductivité est grande plus que la dilution du Na⁺ est grande et vice versa. Alors pour le cas de K⁺ on ne fait pas la dilution sauf que la conductivité est grande.

4/ Paramètres de pollution :

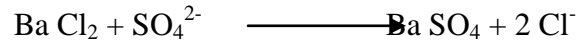
4.1/Détermination des sulfates SO₄²⁻ :

• **Objet :** Ce mode opératoire décrit une méthode d'analyse en flux continu pour la détermination des sulfates, pour des concentrations allant de 5 à 500 mg/l.

La fréquence d'analyse peut être élevée (jusqu'à 40 échantillons par heure).

• **Domaine d'application :** Cette méthode est applicable pour différents types d'eaux (eau souterraine, eau de surface, eau de mer, eau potable).

- **Principe** : Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum en présence de Ba Cl₂.



- **Echantillonnage** : En préparé le réactive.
- **Appareil** : L'appareil utilisé est Spectrophotomètre Dr 2800.



Figure N°21: Spectrophotomètre Dr 2800

- **Réactifs** :

- Solution mère de sulfates à 1 g/l à partir de Na₂ SO₄

Peser 1.479 g de Na₂ SO₄ 1000ml d'eau distillée.

- Solution stabilisante :

Acide chlorhydrique (c) 60 ml.

Ethanol 200 ml.

Chlorure de sodium 150 g.

Glycérol 100 ml.

Eau distillée Q.S.P. 1000 ml.

- Solution de chlorure de baryum :

Chlorure de baryum 150 g.

Acide chlorhydrique 5 ml.

Eau distillée Q.S.P. 1000 ml.

- **Méthode de travail** :

- Gamma d'étalonnage :

*Prendre 8 béchers de 250 ml.

*Laver très bien avec du savon et une lavette.

*Rincer abondamment avec l'eau du robinet.

*Rincer avec une solution acide chlorhydrique.

*Rincer avec l'eau du robinet puis avec de l'eau distillée.

➤ Gamme d'étalonnage :

N° Bécher	0	1	2	3	4	5	6	7
\$ mère à 1 g/l	0	1 ml	2 ml	3 ml	4 ml	5 ml	6 ml	7 ml
Qsp	100 ml	100 ml	100 ml	100 ml	100 ml	100 ml	100 ml	100 ml
\$ stabilisante	5 ml	5 ml	5 ml	5 ml	5 ml	5 ml	5 ml	5 ml
\$ chlorure de baryum	2 ml	2 ml	2 ml	2 ml	2 ml	2 ml	2 ml	2 ml
Agitation 1 mn.								
Concentration finale mg/l SO ₄ ²⁻	0	10	20	30	40	50	60	70

Enregistrer la gamme dans le spectrophotomètre à la longueur d'onde λ 420.

• **Mode opératoire :**

- Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée.

- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante.

- Ajouter 2 ml de chlorure de baryum.

- Agiter énergiquement pendant 1 mn.

- Passer au spectrophotomètre $\lambda = 420$ nm.

• **contrôle de qualité :** Le résultat est donné directement en mg/l.

• **Mesures de sécurité :** L'utilisation de gants et de masc. Jetable lors d'utilisation des produits chimiques est obligatoire il doit être préparés dans la hotte chimique

• **Remarque :** Les échantillons troubles ou colorés doivent être filtrés sur filtre de 0.45 μ m.

Les échantillons qui contiennent plus de 70 mg/l SO_4^{2-} doivent être dilués avant détermination

• **Expression des résultats :** Mg/l SO_4^{2-} = la valeur lue sur le spectrophotomètre x facteur de la dilution

Le résultat est donné directement en mg/l.

Chapitre (5):
Partie expérimentale

I. Introduction :

Après avoir effectué les différentes analyses expérimentales des eaux ont été pris en compte représentés par les paramètres physico-chimiques suivants : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , pH, conductivité électrique (CE), la dureté, titre alcalimétrique totale (TA) et le titre alcalimétrique totale complet (TAC). Ainsi, et les paramètres de pollution le sulfate (SO_4^{2-}) et les paramètres spectrophotomètres a flamme: Potassium (K^+) et Sodium (Na^+), des deux régions d'étude, et les résultats obtenus sont mentionnés dans les tableaux suivants :

1/ Zone (1) : Hassi Messaoud

- Bouteille N°(1) : réseau de forage 19
- Bouteille N°(2) : château d'eau de forage 21
- Bouteille N°(3) : réseau de forage 21.

1.1/ Les forages exploités :

Il ya plus de 22 forage exploité a la ville Hassi Messaoud, mais dans se travaille en mètre les forages que on : Forage 21, Forage 19.

1.1.1/ Les caractéristiques des forages exploités :

Les caractéristiques techniques des forages exploites sont représentes dans le tableau N°19.

Tableau N°19: Caractéristiques des forages 19 et 21.

Caractéristiques de forage		
	Forage N° 19	Forage N° 21
Gènère de la nappe	Sénonien	Sénonien
Lieu d'implantation	Prés carrefour 24 février	Rond point centre ville
Date réalisation	1996	18/06/1997
Profondeur	360 m	360 m
Débit	108 m ³ /h	130 m ³ /h
Niveau statique	39 m	46.30 m
Niveau dynamique	65.65 m	53.30 m

1.1.2/ Les équipements des forages exploitées :

Tableau N°20: les équipements des forages 19 et 21.

Equipement		
Marque de la pompe	SAER	SAER
Puissance	37 kW	37 kW
Intensité	78 Am	79 AM
Débit	136 m ³ / h	160 m ³ / h
H.MT	60 m	60 m
Date installation	06/04/2005	06/03/2007

1.2/ Les paramètre physiques :

1.2.1/ Mesure de PH, CE et Turbidité :

Tableau N°21: Mesure de PH et CE et Turbidité

	T °c	PH	CE	Turbidité (NTU)
Réseau de F.19	11	7.09	1872 µS	0.455
Château d'eau de F.21	12	7.07	3120 ms	0.327
Réseau de F.21	15	7.17	3280 ms	0.226

1.3/ Les paramètre chimiques :

1.3.1/ Mesure de Chlorure :

Tableau N°22: Mesure de Cl⁻

	Réseau de F.19	Château de F.21	Réseau de F.21
V_a (ml)	7.6	15.6	14
V_b (ml)	2	2	2
D (ml)	5	5	5
V_s (ml)	10	10	10
[Cl⁻] (mg/l)	279.93	679.84	599.86

1.3.2/ Mesure de calcium :

Tableau N°23: Mesure de calcium Ca²⁺

	Réseau de F.19	Château de F.21	Réseau de F.21
F	2	5	5
V₁ (ml)	13.4	7.5	7.7
[Ca²⁺] (mg/l)	214.82	300.6	308.61

1.3.3/ Mesure de dureté :

Tableau N°24: Mesure de dureté

	Réseau de F.19	Château de F.21	Réseau de F.21
V₂ (ml)	17.9	9.2	9
F	2	5	5
TH (mg/l de CaCO₃)	716	920	900

1.3.4/ Mesure de Magnésium :

Tableau N°25: Mesure de magnésium Mg²⁺

	Réseau de F.19	Château de F.21	Réseau de F.21
V₁	13.4	7.5	7.7
V₂	17.9	9.2	9
F	2	5	5
Mg²⁺	43.74	41.31	31.59

1.3.5/ Mesure de l'alcalinité de l'eau :

Tableau N°26: Mesure de TAC.

	Réseau de F.19	Château de F.21	Réseau de F.21
V_a (ml)	2.5	3	3.3
V_b (ml)	1.2	1.2	1.2
T (ml)	(10/14.9)	(10/14.9)	(10/14.9)
D (ml)	5	5	5
TAC (F°)	4.36	6.04	7.04
TAC (mg/l de CaCO₃)	43.6	60.4	70.4
[HCO₃⁻] (mg/l)	53.192	73.68	85.88

1.3.6/ Mesure de potassium et de sodium :

Tableau N°27: Mesure de Na⁺ et de K⁺ :

	Réseau de F.19	Château d'eau de F.21	Réseau de F.21
Na ⁺ (mg/l)	90	200	200
K ⁺ (mg/l)	7	10	10

1.4/ Paramètre de pollution :

1.4.1/ Mesure de sulfate :

Tableau N°28: Mesure de SO₄²⁻

	Réseau de F.19	Château d'eau de F.21	Réseau de F.21
Dilution	2	5	5
[SO ₄ ²⁻] (mg/l)	420	405	450

II. Comparaison :

1.1/ Les normes Algérienne :

L'Algérie s'est basée sur les normes internationales, pour établir ses propres normes, on peut que c'est une combinaison des différents normes qui existe sur le plan international. Et les résultats d'analyses des eaux dans les tableaux suivants :

Tableau N°29: Comparaison entre les normes Algériennes et les résultats d'analyses des eaux de réseau de forage 19.

	Unité	Réseau de F.19	Les normes Algérienne	Observation
PH	-	7.09	6.5 à 8.5	Acceptable
CE	μ S/cm	.1872	2800	Acceptable
[Ca ²⁺]	mg/L	214.82	200	Non Acceptable
[Mg ²⁺]	mg/L	43.74	150	Acceptable
[K ⁺]	mg/L	7	20	Acceptable
[Na ⁺]	mg/L	90	200	Acceptable
[SO ₄ ²⁻]	mg/L	420	400	Acceptable
[Cl ⁻]	mg/L	279.93	500	Acceptable

TH	mg/L de CaCO ₃	716	500	Acceptable
-----------	---------------------------	-----	-----	------------

Tableau N°30: Comparaison entre les normes Algériennes et les résultats d'analyses des eaux de château d'eau de forage 21

	Unité	Château d'eau de F.21	Les normes Algérienne	Observation
PH	-	7.07	6.5 à 8.5	Acceptable
CE	m S/cm	3120	2800	Non Acceptable
[Ca ²⁺]	mg/L	300.6	200	Non Acceptable
[Mg ²⁺]	mg/L	41.31	150	Acceptable
[K ⁺]	mg/L	10	20	Acceptable
[Na ⁺]	mg/L	200	200	Acceptable
[SO ₄ ²⁻]	mg/L	405	400	Acceptable
[Cl ⁻]	mg/L	679.84	500	Non Acceptable
TH	mg/L de CaCO ₃	920	500	Non Acceptable

Tableau N°31: Comparaison entre les normes Algériennes et les résultats d'analyse des eaux de réseau de forage 21.

	Unité	Réseau de F.21	Les normes Algérienne	Observation
PH	-	7.17	6.5 à 8.5	Acceptable
CE	m S/cm	3280	2800	Non Acceptable
[Ca ²⁺]	mg/L	308	200	Non Acceptable
[Mg ²⁺]	mg/L	31.59	150	Acceptable
[K ⁺]	mg/L	10	20	Acceptable
[Na ⁺]	mg/L	200	200	Acceptable
[SO ₄ ²⁻]	mg/L	450	400	Non Acceptable
[Cl ⁻]	mg/L	599.86	500	Non Acceptable
TH	mg/L de CaCO ₃	900	500	Non Acceptable

III. L'interprétation :

D'après le tableau N°29, on remarque que la concentration de calcium Ca^{2+} n'est pas acceptable aux normes Algériennes, mais autres les valeurs sont conformés aux normes Algériennes. Et d'après les tableaux N°30 et N°31, on remarque que les valeurs de (pH, Mg^{2+} et K^+ , Na^+), sont conformes aux normes Algériennes. Par contre, les paramètres (CE et Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- et TH) sont supérieurs aux normes Algériennes, ce qui vent dire que nécessite un traitement d'adoucissement.

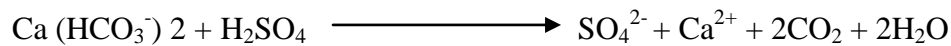
IV. Recommandations :

Une forte conductivité une dureté très élevée traitement de déminéralisation

- ✓ Traitement membranaire osmose en verse, nano filtration
- ✓ Décarbonatation à la chaux ou décarbonatation à la chaux et a la soude.

1/ La décarbonatation acide:

Cette méthode permet la décomposition du bi carbonique par un acide fort. L'acide le plus souvent utilisé est l'acide sulfurique (H_2SO_4) dont la réaction de principe est la suivante.



Cette technique présente l'avantage qui ne nécessite aucun appareillage de grande dimension, et l'inconvénient dans le fait qu'il transpose un phénomène d'entartrage en un phénomène de corrosion pour les raisons suivantes:

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

Donc un tel traitement impose l'emploi des produits anticorrosifs, efficaces dont les doses, sont déterminées par des essais préliminaires. [M. Aljandra-Dominguez]

2/ La décarbonatation à la chaux ou à la soude:

Les principaux procédés de ce type sont les suivant : [R. Desjardins]

- ↳ Procédé par addition de la chaux seulement
- ↳ Procédé par addition de la chaux et de la soude
- ↳ Procédé par addition d'un excès de la chaux

2.1/ Procédé par addition de la chaux seulement:

Ce procédé est basé sur l'utilisation de la chaux et permet de réduire la concentration d'ions calcium d'une eau, n'exerce aucune influence sur la dureté non carbonatée et sur la dureté magnésienne.

2.2/ Procédé par addition de la chaux et de la soude:

Ce procédé est basé sur l'utilisation de la chaux et de la soude, Na_2CO_2 permet de réduire la dureté non carbonatée d'une eau.

2.3/ Procédé par addition d'un excès de la chaux:

On utilise le procédé par addition d'un excès de la chaux pour réduire la dureté carbonatée associée à du calcium et à du magnésium. Lorsqu'on ajoute suffisamment de chaux, le magnésium se combine avec des ions hydroxydes pour former un précipité de $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

L'addition d'un excès de chaux, permet de réduire la solubilité du $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

2/ Zone (2) : Touggourt

- Forage SIDI MAHDI N°3
- Réseau Temacine TGT
- Forage Albien Ain Sahara 2 TGT

2.1/ Les paramètres physiques :

Tableau N°32: Mesure de PH et CE et Turbidité

	T °c	PH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Turbidité (NTU)
F. Sidi Mahdi N°3	11	7.01	6500	2.36
Réseau Temacine TGT	12	7.05	3300	3.29
F. Albien Ain Sahara 2 TGT	15	6.85	3410	4.65

2.2/ Les paramètres chimiques :

2.2.1/ Mesure de Chlorure :

Tableau N°33: Mesure de Cl^-

	F. Sidi Mahdi N°3	Réseau Temacine	F. Albien Ain Sahara 2
V_a (ml)	7.6	15.6	14
V_b (ml)	2	2	2
D (ml)	5	5	5
V_s (ml)	10	10	10

[Cl ⁻] (mg/l)	738.96	428.47	595.14
---------------------------	--------	--------	--------

2.2.2/ Mesure de calcium :

Tableau N°34: Mesure de calcium Ca²⁺

	F. Sidi Mahdi N°3	Réseau Temacine	F. Albien Ain Sahara 2
F	2	5	5
V ₁ (ml)	13.4	7.5	7.7
[Ca ²⁺] (mg/l)	212.42	200.52	220.44

2.2.3/ Mesure de dureté :

Tableau N°35: Mesure de dureté

	F. Sidi Mahdi N°3	Réseau Temacine	F. Albien Ain Sahara 2
V ₂ (ml)	17.9	9.2	9
F	2	5	5
TH (mg/l de CaCO ₃)	730	1120	760

2.2.4/ Mesure de Magnésium :

Tableau N°36: Mesure de magnésium Mg²⁺

	F. Sidi Mahdi N°3	Réseau Temacine	F. Albien Ain Sahara 2
V ₁	13.4	7.5	7.7
V ₂	17.9	9.2	9
F	2	5	5
Mg ²⁺	74.4	114.23	50.4

2.2.5/ Mesure de l'alcalinité de l'eau :

Tableau N°37: Mesure de TAC.

	F. Sidi Mahdi N°3	Réseau Temacine	F. Albien Ain Sahara 2
V _a (ml)	2.5	3	3.3
V _b (ml)	1.2	1.2	1.2
T (ml)	(10/14.9)	(10/14.9)	(10/14.9)
D (ml)	5	5	5
TAC (F°)			

TAC (mg/l de CaCO ₃)	261.11	141.17	189.47
[HCO ₃ ⁻] (mg/l)	318.55	172.23	231.15

2.2.6/ Mesure de potassium et de sodium :

Tableau N°38: Mesure de Na⁺ et de K⁺ :

N° des bouteilles	F. Sidi Mahdi N°3	Réseau Temacine	F. Albien Ain Sahara 2
Na ⁺ (mg/l)	300	200	300
K ⁺ (mg/l)	35	10	20

2.3/ Paramètre de pollution :

2.3.1/ Mesure de sulfate :

Tableau N°39: Mesure de SO₄²⁻

	F. Sidi Mahdi N°3	Réseau Temacine	F. Albien Ain Sahara 2
Dilution	2	5	5
[SO ₄ ²⁻] (mg/l)	460	405	450

V. Comparaison :

2.1/ Les normes Algérienne :

L'Algérie s'est basée sur les normes internationales, pour établir ses propres normes. Et les résultats d'analyses des eaux dans les tableaux suivants :

Tableau N°40: Comparaison entre les normes Algériennes et les résultats d'analyses des eaux de Forage Sidi Mahdi N° 3.

	Unité	F. Sidi Mahdi N° 3	Les normes Algérienne	Observation
PH	-	7.01	6.5 à 8.5	Acceptable
CE	μ S/cm	6500	2800	Non acceptable
[Ca ²⁺]	mg/L	212.42	200	Acceptable
[Mg ²⁺]	mg/L	74.4	150	Acceptable
[K ⁺]	mg/L	35	20	Non acceptable
[Na ⁺]	mg/L	300	200	Non acceptable
[SO ₄ ²⁻]	mg/L	460	400	Non acceptable

[Cl ⁻]	mg/L	738.96	500	Non acceptable
TH	mg/L de CaCO ₃	730	500	Non acceptable

Tableau N°41: Comparaison entre les normes Algériennes et les analyses des eaux de réseau Temacine TGT.

	Unité	Réseau Temacine	Les normes Algérienne	Observation
PH	-	7.05	6.5 à 8.5	Acceptable
CE	m S/cm	3300	2800	Non acceptable
[Ca ²⁺]	mg/L	200.52	200	Acceptable
[Mg ²⁺]	mg/L	114.23	150	Acceptable
[K ⁺]	mg/L		20	Acceptable
[Na ⁺]	mg/L		200	Acceptable
[SO ₄ ²⁻]	mg/L		400	Acceptable
[Cl ⁻]	mg/L	428.47	500	Acceptable
TH	mg/L de CaCO ₃	1120	500	Non acceptable

Tableau N°42: Comparaison entre les normes Algérienne et les analyses des eaux de forage Albien Ain Sahara 2 TGT.

	Unité	F. Albien Ain Sahara	Les normes Algérienne	Observation
PH	-	6.85	6.5 à 8.5	Acceptable
CE	m S/cm	3410	2800	Non acceptable
[Ca ²⁺]	mg/L	220.44	200	Non acceptable
[Mg ²⁺]	mg/L	50.4	150	Acceptable
[K ⁺]	mg/L	20	20	Acceptable
[Na ⁺]	mg/L	300	200	Non acceptable
[SO ₄ ²⁻]	mg/L	450	400	Non acceptable
[Cl ⁻]	mg/L	595.14	500	Non acceptable

TH	mg/L de CaCO ₃	760	500	Non acceptable
-----------	---------------------------	-----	-----	----------------

VI. L'interprétation :

D'après les tableaux (40, 41, 42), on remarque que les valeurs (pH, Ca²⁺ et Mg²⁺), sont conformes aux normes Algériennes. Par contre, les paramètres (CE, K⁺, Na⁺, SO₄²⁻, Cl⁻, TH) sont supérieures aux normes algériennes ce qui vent dire que nécessite un traitement d'adoucissement.

VII. Recommandation :

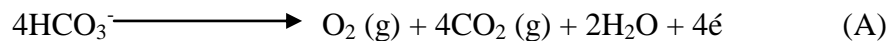
On peut recommander les traitements d'adoucissement suivants :

- Le (TH) est élevée donc on a fait la décarbonations
- Le (CE) est élevée donc on a fait le dessalement (nano filtration).

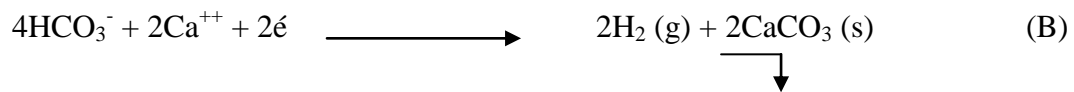
1/ L'adoucissement électrochimique :

L'adoucissement électrochimique est un procédé qui joue le rôle d'empêcher toute précipitation du carbonate de calcium, ce qui exige l'abaissement fort de dureté des eaux, donc il est préconise d'installer un adoucisseur électrochimique.

L'adoucissement électrochimique consiste à effectuer une macro électrolyse de l'eau entre une anode à la surface de laquelle a lieu l'oxygène des anions hydrogénocarbonate (HCO₃⁻) en oxygène moléculaire avec production de dioxyde de carbone selon [27] :



Et une cathode où l'hydrogène H⁺ de l'anion HCO₃⁻ est réduit en hydrogène selon :



Globalement, l'électrolyse réalise la réaction électrochimique suivante: (A) + (B)



Conclusion

Générale

Conclusion générale

Dans notre étude, la partie expérimentale faite par les analyses des eaux potables des régions d'étude de Hassi Messaoud et de Touggourt ont donnés des résultats qui vont être comparés aux normes Algériennes. On peut on conclure que les eaux des deux zones d'étude sont des eaux potables admises pour la consommation, avec des mesures de précaution à prendre en compte pour les concentrations des éléments qui ne s'affichent pas dans les normes exigées et parmi les solutions proposées on peut citer :

- Traitement membranaire osmose en verse, nano filtration.

- Décarbonatation à la chaux ou décarbonatation à la chaux et a la soude.

- Traitements de dessalement (nano filtration).

Bibliographie

- A. Dautheville.** (La corrosion des conduits d'eau et de gaz). France. P : 326-346, (1959).
- A. Zeghloul ;** Mécanismes D'endommagement des Structures, Unité de Formation et de Recherche, Université-Mez.
- ADE.** Ouargla ; laboratoire central d'Algérie des eaux. Ouargla ;
- B. Boufatah ;** Efficacité des eaux inhibiteurs de corrosion dans les unités GPL a Hassi Messaoud ; Mémoire d'ingénieur IAP 2008 ; P (6 – 10).
- B. Koribaa ;** prévention et lutte contre le phénomène d'entartrage dans les conduites d'eau dans la région de Ouargla-Touggourt : Mémoire de Magister ; étude sur site ; Université Kasdi Merbah Ouargla (2007).
- Bechki Lazhar** Thème : (centre universitaire Ouargla 1998). (Influence des inhibiteurs organiques sur la corrosion électrochimique d'acier en milieu acide). P 4, 5.
- BESSA.N** (2003). Monographie de la vallée de Oued R'Hir. Recueil des communications des journées techniques et scientifiques sur la qualité des eaux du sud, p 5.
- C. Hort ;** Contribution à l'étude des phénomènes d'entartrages : influence des solides en contact avec le liquide sur la cinétique de précipitation ; Thèse de doctorat INSA Toulouse (1994).
- Cherfouh Samir.** Thème (centre universitaire Ouargla 1996). (Corrosion bactérienne des ouvrages pétroliers). P : 1, 3, 4, 5.
- DAHMANI. B, BITHOREL. C,** (2001) Déminéralisation des eaux saumâtres de Brédéah dans la région du bassin hydrographique Oranie-Chott-Chergui. Partie 1 : Hydrogéologie de la nappe Brédéah. Désaliénation, 137, 297-309.
- Document de l'ANRH ;** (Rapport technique : les forages).
- F. Berné ; J. Cordonnier ;** Traitement des eaux ; Editions Technip-Paris (1991).
- G. Poirier.** (La corrosion des conduits d'eau et de gaz). France. P : 370-371, (1965).
- H. Roques ;** Fondements théoriques du traitement chimique des eaux ; Technique et Documentation – Paris (1990).
- J. Bernard ;** Mémento technique de l'eau ; Edition Paris – France (1989).

Kyoisse Mohamed Thème (UNAH Boumerdesse). (Le phénomène de corrosion et leur type et formes ces influences sur l'acier)

Landon It. (Traitement des matériaux. Corrosion de chimie du surface) P : 401, 402, 403, 404, 406, 407, 410, 411.

M. Aljandra – Dominguez ; Contribution à l'étude des mécanismes d'entartrage : influence de la matière humique dans l'inhibition de la croissance cristalline du carbonate de calcium ; Thèse de doctorant INSA Toulouse (1994).

M. Aljandra-Dominguez ; Contribution à l'étude des mécanismes d'entartrage : influence de la matière humique dans l'inhibition de la croissance cristalline du carbonate de calcium ; thèse de doctorat INSA Toulouse (1994).

M. Saïde ; M. Dakmouche ; Aperçu sur la corrosion : Rapport interne ; Université Kasdi Merbah Ouargla ; (2008-2009).

Manuel de traitement des eaux d'injection 1973 Editions Technip. P : 204, 205.

Mehaoua ; N. Ahmadi ; Contribution à l'étude du phénomène d'entartrage observé au niveau de la région d'El Oued : Mémoire d'ingénieur ; Université Kasdi Merbah Ouargla (2001).

Mémento technique de l'eau (1989). Tom 1, 9^{ème} édition.

R. Desjardins ; Le traitement des eaux ; Technique et Documentation – Paris (1997).

R. Rosser, F. Nguyen, K. Walha, M. Ben Amor et A. Daoud ; L'entartrage par les eaux géothermales du sud – Tunisien ; TSM numéro 11 – Novembre 1996, p : 67 – 73.

R. Rosset ; Les procédés physiques antitartre : mythe ou réalité ? ; L'actualité chimique – Janvier – février 1992, p 125 – 148.

ROLAND.V (2000). Eau, environnement et santé publique.

ز.حسين, تحضير بعض المركبات الأزوتية و مركبات الفوسفين الجديدة و دراسة فعالية تثبيطها في وسط حامضي و مياه جوفية, مذكرة الماجستير, جامعة ورقلة 2004/2003. ص 25

ANNEXES

Les matérielles utilisées dans laboratoire



Des bouteilles de l'eau distillée



Des fioles



Download from [Shutterstock.com](https://www.shutterstock.com)
An image library with millions of royalty-free images, illustrations and vectors.



Des différents types des Bécher



Des Pipetes

Résumé :

Nous en avons discuté dans notre travail dans la mesure de la qualité de l'eau sur les conduites d'alimentation en eau potable de la ville de Hassi Messaoud et Touggourt. Qui vise à réduire les sédiments et les microbes persistants sur le niveau des canaux privés d'eau potable à boire. Conduire aussi à manger.

Notre étude a porté sur les caractéristiques les plus importantes de l'eau potable écrémée toute quantité des éléments minéraux et produits chimiques organiques qui peuvent présenter un risque pour la santé humaine. Et la quantité de ces éléments en raison de la proportion de sa concentration dans l'eau. Arizona que le phénomène de sédiments qui mènent aux canaux d'érosion, qui à son tour une incidence sur la qualité de l'eau. Dans ce cas, nous oblige à faire des analyses des concentrations des éléments chargés de sédiments et d'essayer de trouver des solutions et des traitements, après avoir comparé les normes Algériennes pour l'eau potable pour boire.

Les mots clés : L'entartrage, Corrosion, Eau, Forage.

Summary:

We discussed our work in the measurement of water quality on drinking water supply of the city of Hassi Messaoud Touggourt pipes. Which aims to reduce sediment and persistent microbes on the level of private channels of clean water to drink. Also lead to eating.

Our study focused on the most important characteristics of drinking water skim any quantity of mineral elements and organic chemicals that may pose a risk to human health. And the amount of these elements because of the proportion of its concentration in water. Arizona the sediment phenomenon leading to erosion of channels, which in turn affect the water quality. In this case, requires us to make analyzes of the concentrations of sediment-laden items and try to find solutions and treatments, after comparing the Algerian standards for drinking water to drink.

Keywords: Scaling, Corrosion Water Drilling.