

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT HYDRAULIQUE

N° :



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES
FILIERE : HYDRAULIQUE
OPTION : RESSOURCES HYDRAULIQUE

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par :

**BEKRAOUI ABDERRAHMANE
BOUCHELALLEG YOCEF**

Intitulé

Réalisation d'un test pour mesurer la dureté de l'eau potable

Soutenu devant le jury composé de :

		Université M'sila	Président
Guemache Abderezak	MCA	Université M'sila	Rapporteur
		Université M'sila	Examineur

Année universitaire : 2022 /2023

REMERCIEMENT

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Mr. Guemache abderezak , son précieux conseil et son aide durant toute la période du travail.

Nous vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, nous remercions également tous les enseignants et toutes les personnes qui ont participé de près de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Merci

Dédicaces

Tout d'abord, grâce à Dieu, qui nous a permis de faire cela

Je dédie ce travail à ma mère et mon père bien-aimés, sans eux, après Dieu, nous ne serions pas là, à mes chers frères et sœurs et leurs enfants, à mes fidèles amis, à mes honorables professeurs, à tous ceux qui ont joué un rôle dans mon arrivée ici

A la famille Bekraoui

Je vous aime

Abderrahmane

Dédicaces

Tout d'abord, grâce à Dieu, qui nous a permis de faire cela

Je dédie ce travail à ma mère et mon père bien-aimés, sans eux, après Dieu, nous ne serions pas là, à mes chers frères et sœurs et leurs enfants, à mes fidèles amis, à mes honorables professeurs, à tous ceux qui ont joué un rôle dans mon arrivée ici

A la famille Bechlaleg

Je vous aime

youssef

Sommaire

Liste des abréviations	7
Liste des tableaux	8
Listes des figures	9
Liste des équations	10
Introduction	12

Chapitre I Généralités sur l'eau

I. L'eau	15
I.1 Introduction	15
I.2 Les différents états de la matière.....	15
I.3. Le cycle de l'eau	15
□ I.3.1. Définitions/explications :	16
I.4. Propriétés de l'eau.....	17
□ I.4.1. Propriétés chimiques de l'eau	17
□ I.4.2. Propriétés physiques de l'eau.....	18
□ I.4.3. Propriétés biologiques de l'eau	18
I.5. Origine des pollutions des eaux	18
□ I.5.1. L'agriculture.....	19
□ I.5.6. L'industrie	20
I.6. Les principaux polluants des eaux naturelles.....	21
□ I.6.1. Polluants physiques.....	21
□ I.6.2. Polluants chimiques	21
□ I.6.3. Paramètres physico-chimiques.....	23
□ I.6.4. Paramètres organoleptiques :	23
□ I.6.5. Paramètres physiques :	24
I.7. Conclusion	27
I.8. Références.....	28

Chapitre II Généralités sur la dureté de l'eau

II. Généralités sur la dureté de l'eau.....	30
II.1. Les propriétés de l'eau.....	30
II.2. Normes de qualité des eaux destinées à la consommation humaine.....	31
□ II.2.1. Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux.....	31
II.2.1.1. Les différents types de titre hydrotimétrique	32
.....	32
II.2.1.2. Unités d'expression.....	33
□ II.2.2. Paramètres concernant des substances indésirables.....	35
□ II.2.3. Paramètres concernant des substances toxiques	35

□ II.2.4. Paramètres microbiologiques.....	36
II.3. Facteurs qui influencent la dureté des matériaux :.....	37
□ II.3. 1.Impact de la dureté.....	37
II.4 Les Indicateurs colorées	39
II.5.Conclusion.....	41
II.6.References.....	42

Chapitre III Méthodes d'analyses et de caractérisations

III. Caractéristiques spectrales.....	45
III.1.Analyse par infrarouge	45
III.2. La spectrophotométrie UV-Visible	45
□ III.2.1.Principe de la spectroscopie UV - Visible.....	46
□ III.2.2.Appareillage et fonctionnement.....	47
□ III.2.3.La loi de Béer-Lambert	47
III.3.La pH-meter	48
□ III.3.1.Définition.....	48
III.4.Conductimètre	49
III.5.Turbidimètre.....	50
III.6.Densimètre.....	51
III.7.Conclusion.....	53
III.8.References	54

CHAPITRE IV Etude expérimentale

IV. Propriétés spectrales et structurales.....	56
IV.1 Spectre IR.....	56
□ IV.1-1 Spectre IR du CaCO ₃	56
□ IV.1-2 Spectre IR du di sodique de l'acide l'éthylène diamine tétra-acétique (E.D.T.A)..	57
□ IV.1-3 Spectre IR de Noir T	58
IV.2 Caractéristiques physico-chimiques des colorants	59
□ IV.2 .1.Le colorant Noir ériochrome T.....	59
IV.2.1.1 Etalonnage de la solution	60
□ IV.2 .2.Le colorant Blue de méthylène.....	61
IV.3 Etude de complexométrie du carbonate de calcium par EDTA	62
□ IV.3-1 Détermination de la dureté de l'eau par complexométrie en présence de Noir T et Bleu de méthylène	63
□ Effet du pH.....	64
□ Effet de la conductivité.....	65
□ Effet de la turbidité.....	66
□ Effet de la concentration.....	67

□ L'indicateur coloré Noir T.....	67
□ L'indicateur coloré Bleu de méthylène	70
IV.4.L'alcalinité	72
□ Principe.....	73
□ Titre TA : titre alcalimétrique simple	73
□ Titre TAC : titre alcalimétrique complet	73
□ Matériels	73
b)Mode opératoire	73
□ Détermination du TA :.....	73
□ Détermination du TAC :.....	74
Conclusion générale	78
Listes des annexes	80
Résumé.....	83

Liste des abréviations

Alc : Alcalinité

C° : Degré Celsius

Ca²⁺ : Ion calcium

CaCO₃ : Carbonate de calcium

CO₃²⁻ : Ion carbonate

Mg²⁺: Ion magnésium

EDTA : Ethylène diamine tétra acétique

HCO₃⁻ : Bicarbonate de calcium

M : Molarité

Na⁺ : Ion sodium

NH⁴⁺: Ammonium

pH : Potentiel d'Hydrogène

T°C : Température en degré Celsius

TA : Titre Alcalimétrique

TAC : Titre Alcalimétrique complet

TH : Titre hydrométrique (Dureté Totale)

μS/cm : micro siemens par centimètre

pH : potentiel Hydrogène.

TA : Titre Alcalimétrique.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

FTIR : Infrarouge à transformée fourrier

C.O.T :Carbone organique total

NOIR T : Noir Ériochrome T

BM : Bleu de méthylène

NTU :Unités de turbidité néphalométriques

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau I.1	Les différentes formes d'état de l'eau	15
Tableau II.1	Les valeurs du titre hydrotimétrique (Dureté totale).	33
Tableau II.2	Les valeurs de conductivité des différentes eaux	34
Tableau II.3	Normes des concentrations des eaux destinées à la consommation humaine	35
Tableau II.4	Substances indésirables des concentrations destinées à la consommation humaine	35
Tableau II.5	Substances toxiques	36
Tableau IV.1	Les principales caractéristiques physico-chimiques du Noir T	59
Tableau IV.2	valeur de λ_{\max} du colorant Noir T	61
Tableau IV.3	Les principales caractéristiques physico-chimiques du Blue de méthylène	61
Tableau IV.4	valeur de λ_{\max} de l'adsorbat Blue de méthylène	62
Tableau IV.5	Différentes résultats de la dureté de l'eau en présence de l'indicateur coloré Noir T	67
Tableau IV.6	Différentes résultats de la dureté de l'eau en présence de l'indicateur coloré blue de méthylène	70
Tableau IV.7	Différentes résultats de la dureté de l'eau en présence de l'indicateur coloré la phénolphtaléine	74

Listes des figures

Figure	Titre	Page
Figure I.1	Distribution de l'eau sur la planète	16
Figure I.2	structure chimique de l'eau	17
Figure I.3	Origine des Pollutions des eaux	19
Figure II.1	Molécule d'eau	30
Figure II.2	La dureté totale de l'eau (ou Titre Hydrotimétrique, TH)	32
Figure II.3	La classification des eaux	34
Figure III.1	Appareil spectrophotométrie infrarouge à transformée fourrier (FTIR)	45
Figure III.2	Appareil spectrophotométrie UV-Visible	46
Figure III.3	Principe de fonctionnement d'un spectromètre UV-visible	47
Figure III.4	pH meter SP-2500	49
Figure III.5	Conductimètre de paillasse	50
Figure III.6	Turbidimètre	51
Figure III.7	densimètre	52
Figure IV.1	Spectre IR de CaCO ₃	57
Figure. IV.2	Spectre IR dedi sodique de l'acide éthylène diaminetétracétique (E.D.T.A)	58
Figure. IV.3	Spectre IR de Noir T	58
Figure. IV.4	Domaine du pH par couleur du noir T	60
Figure IV.5	Longueur d'absorbance (λ_{max}) du colorant Noir T	60
Figure IV.6	Domaine du pH par couleur du bleu de méthylène	61
Figure IV.7	Longueur d'absorbance (λ_{max}) du colorant Blue de méthylène	62
Figure IV.8	Effet du pH du CaCO ₃ en présence de Noir T	64
Figure IV.9	Effet du pH du CaCO ₃ en présence de Bleu de méthylène	64
Figure IV.10	Effet de la conductivité du CaCO ₃ en présence de Noir T	65
Figure IV.11	Effet de la conductivité du CaCO ₃ en présence du Bleu de méthylène	65
Figure IV.12	Effet de la turbidité du CaCO ₃ en présence du Noir T	66
Figure IV.13	Effet de la turbidité du CaCO ₃ en présence du Bleu de méthylène	66
Figure IV.14	Evolution de la densité d'une eau à différentes concentrations du CaCO ₃	68
Figure IV.15	Allure de la concentration Ca ²⁺ à différentes titre hydrotimétrique en présence du colorant Noir T	68
Figure IV.16	Allure de la concentration Mg ²⁺ à différentes titre hydrotimétrique en présence du colorant Noir T	69
Figure IV.17	Attitude de la densité d'une eau à différentestitre hydrotimétrique	70
Figure IV.18	Apparence de la concentration (Ca ²⁺) à divers titre hydrotimétrique en présence du colorant bleu de méthylène	71
Figure IV.19	Apparence de la concentration (Mg ²⁺) à divers titre hydrotimétrique en présence du colorant bleu de méthylène	72
Figure. IV.20	Domaine du pH de prédominance TAC	73
Figure. IV.21	Aspect de la concentration CaCO ₃ en fonction du titre alcalimétrique complet(TAC)	74

Liste des equations

Nombre	Equation	Page
(II.1)	$TH = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]$	31
(II.2)	$TAC = [OH^-] + 2 [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]$	32
(II.3)	$TA = [OH^-] + 1/2 [CO_3^{2-}]$	33
(II.4)	$TAC = [OH^-] + 2[CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]$	34
(III.1)	$\text{Log}_{10} (I_0/I) = \epsilon \cdot C \cdot l$	48
(III.2)	$A = \epsilon \cdot C \cdot l$	48
(III.3)	$pH = -\log a_{H_3O^+}$	48
(III.4)	$U = R \cdot I$	49
(III.5)	$R = (1/G) \cdot I$	49
(III.6)	$G = \sigma \cdot (S/l)$	49
(III.7)	$\sigma = \sum (z_i \cdot C_i \cdot \lambda_i)$	50
(IV.1)	$Ca^{2+} (aq) + Y^{4-} (aq) \rightarrow [CaY]^{2-} (aq)$	63
(IV.2)	$Mg^{2+} (aq) + Y^{4-} (aq) \rightarrow [MgY]^{2-} (aq)$	63
(IV.3)	$1^\circ TH = 1 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot L^{-1} [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]$	64
(IV.4)	$[Ca^{2+}] = N_1 \cdot V_{eq} / V_2 \cdot 40$	64
(IV.5)	$[Mg^{2+}] = TH^\circ - [Ca^{2+}]$	64
(IV.6)	$TA = [OH^-] + 1/2 [CO_3^{2-}]$	73
(IV.7)	$TAC = [OH^-] + 2[CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]$	73
(IV.8)	$TAC = N_1 \cdot V_1 / V_2 \cdot 100$	74
(IV.9)	$TA = 0$	74

Introduction générale

Introduction

L'eau potable est une ressource essentielle à la vie humaine. Cependant, la qualité de l'eau peut varier en fonction de nombreux facteurs, y compris la présence de minéraux tels que le calcaire. Le calcaire, également connu sous le nom de carbonate de calcium, est une substance couramment présente dans l'eau potable, en particulier dans les régions où les sols sont riches en minéraux.

Le taux de calcaire dans l'eau potable peut avoir un impact sur de nombreux aspects de notre vie quotidienne. Par exemple, il peut affecter la saveur des aliments et des boissons préparés avec cette eau, ainsi que l'efficacité des appareils ménagers tels que les bouilloires, les machines à café et les lave-linge. De plus, une concentration élevée de calcaire peut entraîner la formation de dépôts dans les canalisations, ce qui peut réduire le débit d'eau et augmenter les coûts de maintenance.

Afin de mesurer le taux de calcaire dans l'eau potable, des tests spécifiques sont nécessaires. Ces tests sont réalisés en laboratoire ou à l'aide de kits de test disponibles dans le commerce. Ils permettent de quantifier la concentration de calcaire dans l'eau en mesurant la quantité de calcium ou de carbonate de calcium présente.

L'objectif de cette étude est de réaliser un test pour mesurer le taux de calcaire dans l'eau potable. Nous examinerons les différentes méthodes disponibles, les principes scientifiques sur lesquels elles reposent et les avantages et les limites de chaque méthode. De plus, nous discuterons de l'importance de connaître le taux de calcaire dans l'eau potable et de l'impact que cela peut avoir sur notre vie quotidienne.

En comprenant le taux de calcaire dans l'eau potable, il est possible de prendre des mesures appropriées pour minimiser ses effets négatifs. Cela peut inclure l'installation de systèmes de filtration appropriés ou l'utilisation de produits chimiques pour réduire la concentration de calcaire. Une meilleure compréhension de ce paramètre essentiel de la qualité de l'eau potable peut contribuer à améliorer notre santé, notre confort et notre durabilité environnementale.

Dans la suite de cette étude, nous explorerons les différentes méthodes de test disponibles pour mesurer le taux de calcaire dans l'eau potable et analyserons les résultats obtenus. Nous examinerons également les recommandations et les réglementations en vigueur concernant la concentration de calcaire dans l'eau potable et discuterons des mesures qui peuvent être prises pour préserver sa qualité.

En conclusion, la réalisation d'un test pour mesurer le taux de calcaire dans l'eau potable est essentielle pour garantir sa qualité et prévenir les problèmes liés à une concentration excessive de calcaire. Cette étude vise à fournir des informations précieuses sur les méthodes de test disponibles et à sensibiliser à l'importance de ce paramètre pour notre bien-être quotidien.

Ce travail vise à étudier les différents types de méthodes de mesure de la teneur en calcaire dans l'eau potable, et à faciliter la connaissance du pourcentage d'eau potable pour le groupe intéressé, qu'il s'agisse d'une institution ou d'une personne.

-Dans le premier chapitre, nous avons donné une introduction à l'histoire de l'eau

-Le deuxième chapitre traitait de l'origine du calcul de l'eau et de ses effets sur certains niveaux et des méthodes de calcul de celui-ci

-Quant au troisième chapitre, nous avons parlé des méthodes d'analyse de l'eau et de ses descriptions

-De plus, dans le dernier chapitre, nous présenterons et discuterons les résultats obtenus.

Chapitre I

Généralistes sur l'eau

I. L'eau

I.1 Introduction

Sur la planète bleue, l'eau est stockée sous quatre formes :

- les glaciers ;
- les océans ;
- les eaux terrestres ;
- l'atmosphère.

I.2 Les différents états de la matière

On peut classer les différentes formes de l'eau en trois catégories :

Tableau I.1 : Les différentes formes d'état de l'eau

État glace	État liquide	État vapeur
Glace	Eau Pluie	Vapeur d'eau
Neige	Le brouillard	
Le givre	La buée	
	Nuage	

La matière se présente sous trois formes, que l'appelle État

Les trois états de la matière sont :

- L'état **liquide** ;
- L'état **solide** ;
- L'état **gazeux**

I.3. Le cycle de l'eau

L'eau se trouve sous trois états dans l'environnement : l'état solide (sous forme de glace), l'état liquide et l'état gazeux (sous forme de vapeur d'eau). Elle renferme cette capacité de changer d'état selon la température et la pression auxquelles elle est obéissante.

Le cycle de l'eau comprend les 5 étapes suivantes :

- L'évaporation ;
- La condensation ;
- Les précipitations ;

- Le ruissellement ;
- L'infiltration.



Figure I.1 : Distribution de l'eau sur la planète

➤ **I.3.1. Définitions/explications :**

- 1. Évaporation :** Sous l'effet de la chaleur (le soleil), l'eau se transforme en vapeur d'eau (état gazeux). Cette transformation est une évaporation.
- 2. Condensation :** Phénomène au cours duquel la vapeur d'eau se transforme en eau liquide. Lorsqu'il commence à faire de plus en plus froid, la goutte d'eau ne peut plus conserver sa forme de vapeur d'eau (comme du gaz). C'est alors que toutes les gouttes d'eau se transforment en petites gouttelettes très légères.
- 3. Précipitation :** Formes variées sous lesquelles l'eau solide ou liquide contenue dans les nuages se dépose à la surface de la planète. Ce phénomène se produit grâce à la condensation, les gouttelettes d'eau se collent les unes aux autres et deviennent alors plus lourdes.
 - ❖ **Les précipitations peuvent prendre plusieurs formes :**
 - ✓ Quand les nuages, formés de gouttelettes d'eau condensés, rencontrent de l'air froid, l'eau se liquéfie et retombe donc dans la mer ou sur la terre, on appelle ça la pluie ;
 - ✓ Quand il fait froid, les gouttes d'eau se changent en cristaux de glace : c'est la neige ;
 - ✓ Si le vent est fort, les petits cristaux se collent les uns aux autres, s'alourdissent et tombent sous la forme de petits glaçons, c'est la grêle ;
 - ✓ Quand de très fines gouttelettes flottent dans l'air près du sol, c'est le brouillard.

4. **Le ruissellement** : Sur les sols peu perméables ou déjà gorgés d'eau par les précipitations précédentes dans lesquels l'eau ne peut s'infiltrer, l'eau de pluie ou la neige fondue ruisselle. Elle va alors former des petits cours d'eau qui, en rencontrant d'autres, deviendront des rivières.
5. **L'infiltration** : Lorsque la pluie tombe et qu'elle atteint le sol, une partie de l'eau est directement utilisée par la végétation, une partie s'évapore (voir évaporation), une partie ruisselle sur la surface pour atteindre un cours d'eau et la dernière s'infiltré dans le sol. L'infiltration dépend directement de la nature du sol et du couvert végétal.

➤ **Ressources destinées à l'alimentation**

- ✓ Eaux superficielles : (Lacs, Fleuves, Rivières...)
- ✓ Eaux souterraines : (Nappes phréatiques, Nappes profondes..)
- ✓ Eaux de pluie ;
- ✓ Eaux saumâtres et eaux salées [1]

I.4. Propriétés de l'eau

Sur la terre, l'eau existe dans les trois états phases : liquide (eau proprement dite), solide (glace) gazeux (vapeur d'eau). Ces trois phases coexistent dans la nature, toujours observables deux à deux, et plus ou moins en équilibre : eau- glace, eau- vapeur, glace-vapeurs et les conditions de température et de pression [1].

➤ **I.4.1. Propriétés chimiques de l'eau**

L'énergie de formation de la molécule d'eau, 242 kJ/mol, est élevée. Il s'ensuit que l'eau possède une grande stabilité. Cette stabilité, associée aux propriétés électriques et à la constitution moléculaire de l'eau, la rend particulièrement apte à la mise en solution de nombreux corps gazeux, liquides polaires, et surtout solide. La plupart des substances minérales peuvent se dissoudre dans l'eau, ainsi qu'un grand nombre de gaz et de produits organiques.[2]

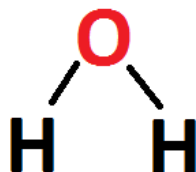


Figure I.2 : structure chimique de l'eau

➤ I.4.2. Propriétés physiques de l'eau

L'eau est une substance remarquable avec des propriétés physiques uniques. Sa densité maximale à 4 degrés Celsius préserve la vie aquatique, tandis que sa chaleur latente de vaporisation élevée régule la température environnementale. De plus, sa tension superficielle élevée permet à certains organismes de se déplacer à sa surface. En tant qu'excellent solvant, l'eau joue un rôle essentiel dans les processus vitaux. De plus, l'eau présente des points de changement d'état significatifs, avec un point d'ébullition à 100 degrés Celsius et un point de congélation à 0 degré Celsius, qui sont cruciaux pour les processus naturels et la vie sur Terre. Ces caractéristiques font de l'eau une substance vitale et fascinante. [3]

➤ I.4.3. Propriétés biologiques de l'eau

L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone contribuent à créer des conditions favorables au développement des êtres vivants [4]. Il existe un cycle biologique, cycle au cours duquel s'effectue une série d'échanges ; l'eau entre pour une grande part dans la constitution des êtres vivants.

I.5. Origine des pollutions des eaux

La pollution des eaux peut être définie comme une dégradation de celle-ci par les éléments qu'elle a accumulés de son utilisation. Ces éléments indésirables proviennent des excréments chimiques, des rejets provenant d'industries divers, du lessivage des terrains traversés.

Le problème de la pollution des eaux représente sans aucun doute l'un des aspects les plus inquiétants de la dégradation du milieu naturel.

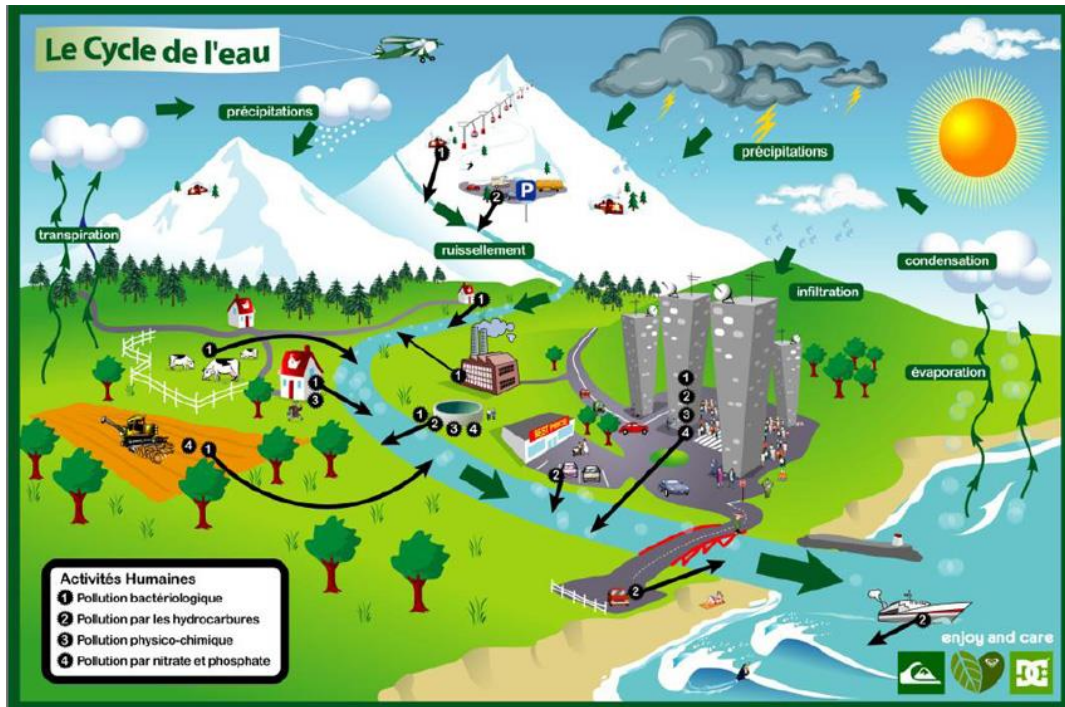


Figure I.3 : Origine des Pollutions des eaux

➤ I.5.1.L'agriculture

Au cours des âges passés jusqu'à nos jours, les agriculteurs ont eu recours à agriculture intensive, source de pollution l'eau du sol avec de fortes concentrations d'azote et de phosphore, pesticides et micro-organismes.

❖ I.5.1.1 Les pesticides

Les pesticides d'origine agricole les plus souvent quantifiés sont les herbicides. Bien que moins fréquente que celle des herbicides, une présence significative d'insecticides et de fongicides utilisés en traitement de grandes cultures est mise en évidence dans l'eau des rivières [5].

❖ I.5.1.2 Les matières organiques

Les déjections animales, issues de l'élevage, contiennent des matières organiques, matières azotées et phosphore pouvant poser des problèmes de pollution des eaux superficielles et souterraines dans les zones d'élevage intensif. Les rejets de bactéries dans

l'environnement sont limités par les pratiques agricoles qui consistent à stocker le lisier dans des fosses. Lorsque les conditions d'épandage sont respectées, ces rejets sont bien absorbés par l'environnement. Toutefois, certains peuvent perdurer des semaines, voire des mois dans l'environnement et en zone d'élevage intensif. Le risque de détecter des microorganismes pathogènes dans les rivières peut alors être important [5].

❖ I.5.1.3 Le phosphore

Élément limitant de la croissance des plantes, il est le principal facteur de l'eutrophisation et de la détérioration de la qualité des eaux. De très faibles teneurs en phosphore (quelques dizaines de mg/l) peuvent constituer un polluant dangereux. Le phosphore est apporté par l'agriculture sous forme d'effluents d'élevage et d'engrais minéraux. L'usage de phosphore dans l'agriculture, lié à l'utilisation d'engrais, contribue ainsi à la pollution des eaux superficielles. Pourtant, la principale source de phosphore en Europe n'est pas l'agriculture, mais les eaux usées domestiques et l'industrie. En France, par exemple, l'apport de phosphore par l'agriculture ne représente que 23% du total [5].

❖ I.5.1.4 Les nitrates

La contamination de l'eau par les nitrates est un des principaux problèmes liés aux activités agricoles. 66% de la pollution aux nitrates est d'origine agricole, et seulement 12% est d'origine industrielle [5].

➤ I.5.6.L'industrie

Une partie non négligeable des résidus de pesticides provient de la production industrielle de ces derniers et de l'utilisation de pesticides par les sociétés de chemins de fer, les services d'entretien des routes, les particuliers et les collectivités. L'azote présent dans l'eau ne provient pas uniquement de l'agriculture, même si celle-ci reste la source d'azote la plus importante. Les Eaux usées industrielles contiennent également de l'azote, notamment les eaux rejetées par les fabricants d'engrais ou d'explosifs, les industries de traitements des métaux et les industries agro-alimentaires.[5]

-Les effets directs sur la santé humaine peuvent être dus à la toxicité élevée de polluants déversés dans les ressources en eau potable ou les eaux de baignade : métaux (mercure, chrome, plomb, cadmium, nickel), nitrates, pesticides.

- **Les effets indirects** sur la santé humaine sont liés à la contamination des milieux aquatiques par des polluants peu biodégradables qui peuvent se stocker dans certains compartiments des écosystèmes et se concentrer ensuite dans les organismes vivants tout au long de la chaîne alimentaire : pollutions métalliques, produits phytosanitaires, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Ces phénomènes s'observent pour des pollutions à faible dose se développant sur des durées importantes ou se cumulant sur des bassins importants.[5]

I.6. Les principaux polluants des eaux naturelles

➤ **I.6.1 Polluants physiques**

La pollution physique représente les éléments solides entraînés par l'eau. Ils se subdivisent en plusieurs catégories selon leur nature et leur dimension.

-Les éléments grossiers

Leur dimension est suffisamment grande pour être retenue par de simples grilles. Dans les eaux de surface, ces éléments sont généralement : les brindilles, les feuilles, les arbres...etc.

-Les sables

Les sables sont des particules minérales d'une certaine dimension. Ils sont généralement à base de silice ou de composition minérale équivalente. Leur masse spécifique est de 2,5 à 2.6 g/cm³, ce qui permet leur élimination par simple décantation [6].

➤ **I.6.2. Polluants chimiques**

La pollution chimique d'une eau est autrement plus complexe et peut provenir de plusieurs sources. On distingue la nature de la pollution chimique :

-Les éléments chimiques minéraux.

-Les éléments chimiques organiques.

- Les éléments chimiques minéraux

L'eau étant un très bon solvant permettra la mise en solution de nombreux composés avec lesquels elle sera en contact .La dissolution des sels, la corrosion des métaux et dissolution des acides et des bases sont des phénomènes qui donnent lieu à des eaux de rejets caractérisées par certaines formes de pollution dont les plus représentatives sont :

-La température

L'évolution de la température dépend du mode d'utilisation de l'eau avant son rejet et surtout le parcours de l'eau avant l'exutoire ou la station d'épuration. En général l'eau doit être évacuée vers l'environnement à des températures inférieures à 30°C une eau plus chaude constitue une pollution [7].

-Le pH

Le pH d'une eau est dû à la concentration de cette eau en ions H⁺ ou OH⁻ une eau équilibrée aura un pH neutre de 7. Des variations trop élevées du pH par rapport à cette valeur moyenne de 7 constitue une pollution. Des eaux dont le pH présente de grands écarts par rapport à la neutralité sont polluées [7].

-Les sels

Dans beaucoup de procédé de production ainsi que lors de l'élaboration des matières, il se forme parfois des sels en grandes quantités, avant tout des chlorures, des nitrates, des sulfates et des phosphates, qui ont une grande importance vis-à-vis l'environnement [8].

- Les carbonates (CO₃²⁻) sont un groupe de minéraux qui comprend le carbonate de calcium (CaCO₃), le carbonate de magnésium (MgCO₃) et le carbonate de sodium (Na₂CO₃). Ils sont tous insolubles dans l'eau. Le seul carbonate peu soluble dans l'eau est le carbonate de potassium (K₂CO₃).
- Les nitrates (NO₃⁻) : les nitrates sont présents naturellement dans les eaux, les apports excessifs ou mal maîtrisés d'engrais azotés provoquent une augmentation des nitrates dans les ressources. Les nitrates se transforment en nitrite dans l'estomac. Ces nitrites peuvent provoquer la transformation de l'hémoglobine du sang en méthémoglobine, impropre à fixer l'oxygène [6].
- Les chlorures : en plus de l'agressivité et de la minéralisation qu'ils confèrent à ces eaux, des taux élevés modifient la saveur de l'eau et contribuent aux dépôts de sels néfastes pour l'agriculture [6].
- Les sulfates (SO₄²⁻) : en plus des inconvénients qui caractérisent les chlorures, les sulfates participent aux métabolismes des bactéries contenues dans l'eau, les bactéries contenues dans l'eau, les bactéries sulfate-réductrice transforment les sulfates en sulfures avec dégagement de gaz sulfureux (œufs pourris) créant des désagréments à l'environnement [6].

-Les métaux lourds

Les métaux lourds, qui parviennent dans les eaux, font partie des polluants de l'eau, les métaux lourds exemple dans les sédiments [8].

-Contaminants microbiologiques

Les microorganismes sont les contaminants de l'eau potable qui présentent le plus grand risque pour la santé. Bien entendu, cela donne lieu à bien des questions. Qu'est-ce qu'un microorganisme ? En existe-t-il plusieurs sortes ? Sont-ils tous dangereux ? En fait, le terme « microorganisme » est un terme très vaste que l'on utilise pour décrire une multitude d'organismes minuscules. Lorsqu'il est question d'eau potable, les trois principaux groupes de microorganismes dont on se préoccupe sont les bactéries, les protozoaires et les virus.

➤ I.6.3.Paramètres physico-chimiques

De nombreux paramètres sont mesurés afin de s'assurer de la qualité de l'eau. Les paramètres organoleptiques, les paramètres physiques, chimiques et la radioactivité sont autant de facteurs devant être contrôlés. On peut dégager de ces paramètres une notion importante, celle de la minéralisation. Il s'agit de l'ensemble des sels minéraux en solution dans l'eau. Ces éléments sont étroitement liés à la géologie locale. Parmi eux, les carbonates de calcium et de magnésium (calcaire) ont un rôle sanitaire important. Leur dépôt en fine couche protectrice sur les parois intérieures des canalisations du réseau d'alimentation, participe à réduire les possibilités de solubilisation des métaux indésirables durant la phase de transport de l'eau. Ceci est particulièrement utile lorsqu'il subsiste des conduites en plomb (branchements ou réseaux intérieurs d'immeubles) car l'ingestion répétée de faibles quantités de plomb présente des risques aujourd'hui bien identifiés, en particulier pour les enfants. A contrario, trop de calcaire peut générer des problèmes d'entartrage sur les réseaux d'eau chaude notamment. [10].

➤ I.6.4.Paramètres organoleptiques :

Ces paramètres concernent les qualités sensibles de l'eau : la couleur, la saveur, l'odeur, la transparence. Ils n'ont pas de valeur sanitaire directe. Une eau peut être trouble, colorée, sentir le chlore et être parfaitement consommable d'un point de vue sanitaire.[10]

-Couleur :

La couleur de l'eau est le résultat de la présence de matières organiques colorées (substances humiques, métaux ou rejets industriels). La couleur doit être acceptable pour les

consommateurs et aucun changement anormal ne doit se faire notamment une couleur inférieure ou égale à 15 mg/L de platine en référence à l'échelle Pt/Co (Platine / Cobalt). [10]

-Turbidité :

L'origine de la turbidité de l'eau provient de la présence de matières en suspension (argiles, limons, particules fibreuses, particules organiques colloïdales, plancton...). En cas de mise en œuvre d'un traitement de neutralisation ou de déminéralisation, la référence de qualité [16]

-Odeur :

L'odeur a pour origine la présence de substances organiques volatiles ou de certains gaz dans l'eau. Elle doit être acceptable pour les consommateurs et aucun changement anormal ne doit se faire notamment pas d'odeur détectée pour un taux de dilution de trois à 25°C. [10]

-Saveur :

Une mauvaise saveur peut être le résultat d'une croissance de micro-organismes occasionnelle, d'une contamination par les matériaux utilisés, de la présence de substances organochlorés... Elle doit être acceptable pour les consommateurs et aucun changement anormal ne doit se faire notamment pas de saveur détectée pour un taux de dilution de trois à 25°C. [10]

➤ **I.6.5.Paramètres physiques :**

Les paramètres physiques sont en relation avec la structure naturelle des eaux : au contact du sol, les eaux se chargent de certains éléments minéraux qui influent sur la conductivité et le pH (acidité). La température de l'eau est également prise en compte. Les références de qualité fixées pour ces paramètres correspondent à des considérations de l'ordre du goût et de l'agrément plutôt qu'à des préoccupations sanitaires. [10]

-Température :

Les variations de la température sont liées à la climatologie, à la géologie et aux activités humaines.

-pH :

Potentiel hydrogène. Le pH caractérise la concentration d'une eau ou d'une solution aqueuse en ions hydronium (H_3O^+). Plus simplement, il mesure l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature géologique des terrains traversés. En régions

granitiques (comme c'est le cas en Auvergne) ou schisteuses, en zones de tourbières ou forestières, les eaux ont un pH acide (< 7). En régions calcaires, les eaux ont un pH basique (> 7). Le pH n'a pas d'effet direct sur la santé mais il présente certains inconvénients. Une eau acide et agressive ($0 < \text{pH} < 7$) corrode les parties métalliques des canalisations de distribution. Le risque sanitaire est alors fonction des métaux qui passent en solution dans l'eau (comme le plomb par exemple : risque de saturnisme hydrique). De plus la pérennité des installations est en jeu, surtout sur les circuits d'eau chaude, où la température accentue la corrosion. Une eau basique ou alcaline ($7 < \text{pH} < 14$) diminue l'efficacité de la désinfection au chlore. Au-dessus de 9 unités pH, il est conseillé de ne pas utiliser cette eau pour la toilette. En effet cette eau peut provoquer des irritations oculaires et une aggravation des affections cutanées.[10]

-Conductivité :

La conductivité représente la résistance qu'une eau oppose au passage d'un courant électrique. Elle est proportionnelle à la minéralisation de l'eau. Plus l'eau est riche en sels minéraux ionisés, plus la conductivité est élevée. La conductivité varie également en fonction de la température. La conductivité à la plupart du temps, une origine naturelle due au lessivage des terrains lorsqu'il pleut. Ce lessivage entraîne naturellement la dissolution d'un certain nombre de sels minéraux. Elle peut également avoir pour origine l'activité humaine causée par les effluents agricoles, industriels ou domestiques qui contiennent des sels contribuant eux aussi à l'accroissement de la conductivité. Une eau faiblement minéralisée (conductivité $< 180 \mu\text{S/cm}$ peut être corrosive pour les canalisations et les appareils de chauffage. Elle peut entraîner une dissolution des métaux toxiques comme le plomb. Une minéralisation trop importante (conductivité $> 1\,000 \mu\text{S/cm}$) peut être à l'origine de dépôts (entartrage lorsque les sels de calcium sont en excès), mais n'a pas de conséquences importantes sur la santé. Cependant des valeurs excessives de la conductivité (minéralisation) peuvent avoir chez l'homme des effets laxatifs. Une telle eau peut également présenter un goût salé [10].

-Carbone organique total (C.O.T.) :

La mesure du carbone organique total donne une indication directe de la charge organique d'une eau. Ce paramètre permet de suivre l'évolution d'une pollution organique et participe au contrôle qualité de l'eau. La présence de C.O.T. dans l'eau peut engendrer une prolifération de micro-organismes. Ce paramètre est intéressant car son suivi en continu est rendu possible par

des analyseurs performants. Il doit être mesuré pour les unités de distribution desservant au moins 5 000 habitants[10].

-Equilibre calco-carbonique :

L'eau contient en quantité plus ou moins importante de l'acide carbonique H_2CO_3 , des ions hydrogénocarbonates HCO_3^- et carbonates CO_3^{2-} . Ces espèces, avec le calcium, sont interdépendants et constituent l'équilibre calco-carbonique. Le comportement d'une eau dépend du fait qu'elle est ou non à l'équilibre. Pour éviter les problèmes d'entartrage et d'agressivité, l'eau doit être la plus proche possible de l'équilibre calco-carbonique (bicarbonate de calcium $Ca(HCO_3)_2$, dioxyde de carbone (CO_2) libre et carbonate de calcium ($CaCO_3$). [10].

I.7.Conclusion

Ce chapitre est consacré à l'étude de l'eau. Nous avons d'abord fourni les différentes définitions et caractéristiques de l'eau (chimiques et biologiques), puis nous avons fourni diverses sources d'eau naturelles et contaminants de l'eau, ainsi que les étapes de la chaîne de l'eau. L'eau, ainsi que les normes qui doivent être nécessaires pour que nous disions que l'eau est propre à un usage humain.

Enfin, l'eau est un excellent solvant en raison de sa polarité. En raison de sa structure moléculaire, l'eau a une charge partielle positive près de l'hydrogène et une charge partielle négative près de l'oxygène. Cela lui permet de dissoudre de nombreuses substances et d'interagir avec des ions positifs et négatifs. Cette propriété fait de l'eau un milieu réactif et facilite les processus chimiques et biologiques qui se produisent dans les systèmes aqueux.

En conclusion, l'eau est une substance extraordinaire avec des propriétés physiques uniques. Sa densité maximale, sa chaleur latente de vaporisation élevée, sa tension superficielle et sa capacité de dissolution en font une substance essentielle à la vie. Comprendre ces propriétés est crucial pour la préservation et l'utilisation responsable de cette ressource précieuse.

I.8. Références

- [1] Alger(alger géophysique)(1997).Etude Géophysique Danslaplained Guelma.Rapport Interne,28p.
- [2] Boeglin jean-claude. Propriétés des eaux naturelles. Technique de l'ingénieur,traité environnement,g1110.
- [3] campbell, n. A., reece, j. B., urry, l. A., cain, m. L., wasserman, s. A., minorsky, p. V., & jackson, r. B. (2008). Biology (8th ed.). Pearson
- [4] Dajozr.Précisd'écologie.4èmeédition,gauthiervillars,1982,p :525.
- [5] Association santé environnement france , pollution de l'eau : origines et impacts.
- [6] Cardot claud. Génie de l'environnement : les traitements de l'eau. Paris, 1999, p : 9.
- [7] Bouziani m. (2000), l'eau de la pénurie aux maladies, éditions ibn-khaldoun, algérie.
- [8] Bliefrt claus. Perraud robert. Chimie de l'environnement : air, eau, sols,déchets.P:271,290,291.
- [9] Franck rejsek. Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques, lycée de borda.
- [10] République française , légifrance le service public de la diffusion du droit , Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique, 01/01/2023.

Chapitre II

Généralités sur la dureté de l'eau

II. Généralités sur la dureté de l'eau

La dureté est une propriété importante dans le domaine des sciences des matériaux car elle permet de caractériser la résistance d'un matériau à la déformation, à l'usure et à la pénétration. Dans ce rapport, nous allons décrire la définition de la dureté, les méthodes de mesure de la dureté et les facteurs qui influencent la dureté des matériaux.[11]. La dureté est définie comme la résistance d'un matériau à la déformation plastique permanente. Elle est mesurée en appliquant une charge sur la surface du matériau à tester, généralement à l'aide d'un pénétrateur en forme de bille, de cône ou de pyramide. La profondeur ou l'empreinte laissée par le pénétrateur sur la surface du matériau est ensuite mesurée pour déterminer la dureté du matériau [12].

II.1. Les propriétés de l'eau

L'eau est une molécule composée d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène, sa formule chimique est H_2O . Une goutte d'eau de la taille d'une pointe d'épingle contient environ un milliard de milliards de molécules d'eau. L'eau est par ses propriétés électriques et sa constitution moléculaire, un solvant polaire particulièrement apte à la mise en solution de nombreux corps gazeux, liquides polaires, et surtout solides. L'eau est une substance chimique constituée de molécules H_2O . Ce composé est très stable et néanmoins très réactif et l'eau liquide est aussi un excellent solvant.

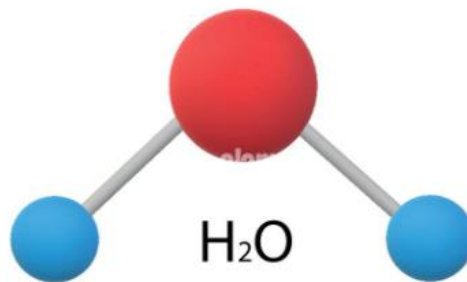


Figure II.1 : Molécule d'eau

Masse volumique : 1000 kg/m^3 (4°)

Point d'ébullition : $100 \text{ }^\circ\text{C}$

Masse molaire : $18,01528 \text{ g/mol}$

Formule : H₂O

Point de fusion : 0 °C

Moment dipolaire : 1.8546D

Viscosité dynamique : 1,002×10⁻³Pa·s à 20 °C

Indice de réfraction : 1.33

Eco toxicologie : DL50 > 90 ml .Kg⁻¹

II.2. Normes de qualité des eaux destinées à la consommation humaine

L'eau ne doit pas présenter :

- I. Une coloration dépassant 15 mg/l de platine en référence à l'échelle platine/cobalt [13]
- II. Une turbidité supérieure à une valeur équivalente à 0.5 NTU. [14]
- III. D'odeur, de saveur, pour un taux de dilution de 2 à 12 degrés C et de 3 à 25 degrés C. [14]

➤ II.2.1. Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux

- a) La température ne doit pas dépasser 25 degrés C.
- b) Le **pH** doit être supérieur ou égal à 6,5 unités pH et inférieur ou égal à 9 unités pH, cette obligation ne s'applique pas aux eaux conditionnées non minérales.

c) **Dureté totale (TH) :**

On détermine le Titre hydrotimétrique (total) de l'eau =

$$\text{TH} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] \quad (\text{II.1})$$

Ce TH se mesure par dosage à l'EDTA qui complexe les ions Ca²⁺ et Mg²⁺. Le TH peut être remplacé par la Titre Alcalimétrie complet = TAC qui mesure la concentration des ions HCO₃⁻ mais aussi la concentration des ions CO₃.

La dureté ou le titre hydrotimétrique (TH) correspond à la somme des concentrations en cations Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ à l'exception des alcalins. [15]

- a) **Magnésium (Mg²⁺) :** Le magnésium est l'élément chimique de numéro atomique 12, de symbole Mg. Le magnésium est un métal alcalino-terreux. La dissolution du MgSO₄ des terrains gypseux du Trias situés au Sud. [16]
- b) **Calcium (Ca²⁺) :** Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates, le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorure

etc. les eaux de bonne qualité renferment de 250 à 350 mg/l les eaux qui dépassent les 500 mg/l présente de sérieux inconvénient pour les usages domestique et pour l'alimentation des chaudières. [17]

II.2.1.1. Les différents types de titre hydrotimétrique

Il est possible de calculer différentes sortes de TH :

- **Le TH total** : il prend en compte la totalité des sels de calcium et magnésium. Il s'agit du TH auquel on fait le plus référence, notamment lorsque l'on évoque la dureté de l'eau.
- **Le TH calcique** : il correspond à la totalité des sels de calcium.
- **Le TH magnésien** : il correspond à la totalité des sels de magnésium.
- **Le TH temporaire** : aussi appelé dureté carbonatée, il correspond à la concentration en carbonates et bicarbonates de calcium dans l'eau.
- **Le TH permanent** : aussi appelé dureté non carbonatée, il correspond à la teneur en sulfates, nitrates et en chlorure de calcium de l'eau. [15]

Rappel :

- La dureté totale de l'eau (ou Titre Hydrotimétrique, TH) exprime la minéralisation en sels d'acides faibles et forts, c'est-à-dire les carbonates, bicarbonates, sulfates et chlorures de calcium et magnésium.

La duré totale = la dureté permanente + la dureté temporelle

- La dureté carbonatée exprime les sels d'acides faibles et les bases : carbonates et bicarbonates de calcium et magnésium.

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] \quad (\text{II.2})$$

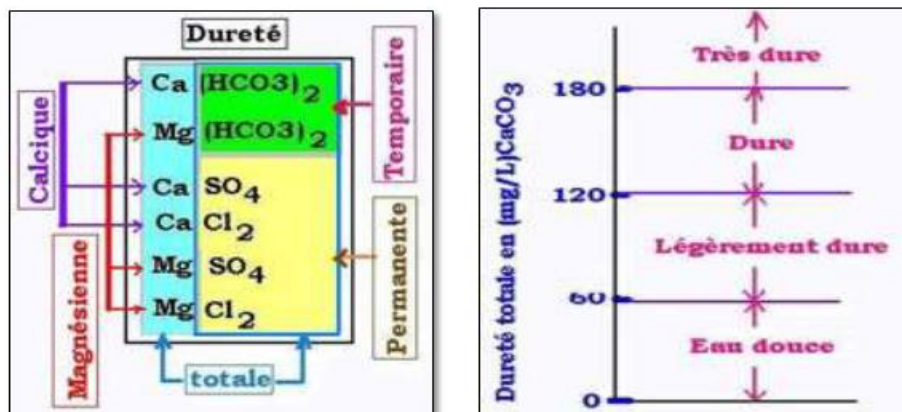


Figure II.2 : La dureté totale de l'eau (ou Titre Hydrotimétrique, TH)

II.2.1.2. Unités d'expression

Mesurant des ions différents (calcium, de masse moléculaire 40 grammes et magnésium, de masse moléculaire 24 grammes), le TH ne peut s'exprimer avec l'unité habituellement utilisée en hydrologie, à savoir le milligramme par litre (mg/l) ou l'un de ses multiples.

En revanche, il pourrait être exprimé dans l'unité internationale, la mole par kilogramme (mol/kg). Il est toutefois plus habituel d'utiliser le milliéquivalent par litre (méq/l) ou :

- **Le degré français (°f)** — à ne pas confondre avec **le degré Fahrenheit (°F)** —, correspond à une concentration de 10 milligrammes de carbonate de calcium (CaCO_3) par litre d'eau (c'est-à-dire la concentration en calcaire) ;
- le degré allemand (°GH, pour *GesamtHärte*) équivaut à 10 mg d'oxyde de calcium (CaO) par litre ;
- le degré américain (°TH, pour *Total Hardness*) équivaut à 10 milligrammes d'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ par litre.

Tableau II.1: Les valeurs du titre hydrométrique (Dureté totale). [18]

TH (°F)	0 à 7	7 à 15	15 à 30	30 à 40	>40
Eau	Très douce	Eau douce	Moyennement douce	Dure	Très dure

Titre alcalimétrique (TA) : La teneur en hydroxyde (OH), est la moitié de la teneur en carbonate CO_3^{2-} et un tiers environ des phosphates présents [19]. TA : permet de mesurer la teneur totale en hydroxydes et seulement la moitié de celle en carbonates, lorsque ces teneurs sont mesurées en *méq/l* ou °F, ce qui est traduit par la formulation.

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + 1/2[\text{CO}_3^{2-}] \text{ méq/lou } ^\circ\text{F} \quad (\text{II.3})$$

Titre alcalimétrique complet (TAC) : Il correspond à la teneur en ions OH, CO_3^{2-} et HCO_3^- pour des pH inférieur, à 8.3, la teneur en ions OH⁻ et CO_3^{2-} est négligeable. (TA = 0), dans ce cas la mesure de TAC correspondant au dosage des bicarbonates seuls [17]. Le titre alcalimétrique complet (TAC) correspond au volume d'acide nécessaire pour neutraliser les ions bicarbonate HCO_3^- en complément des ions carbonate CO_3^{2-} contenus dans 100 ml d'échantillon. **TAC** permet de mesurer les teneurs totales en hydroxydes, en carbonates et en Hydrogénocarbonates, en *méq/l* ou °F, soit : [18]

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] \text{ m\acute{e}q/lou } ^\circ\text{F} \quad (\text{II.4})$$

Le TAC s'exprime en degrés français ($^\circ\text{f}$) :

$$1 \text{ } ^\circ\text{f} = 3,4 \text{ mg/l HO}^- \text{ (seuls ions hydroxyde si } [\text{CO}_3^{2-}] = [\text{HCO}_3^-] = 0)$$

$$1 \text{ } ^\circ\text{f} = 6,0 \text{ mg/l CO}_3^{2-} \text{ (seuls ions carbonate si } [\text{HO}^-] = [\text{HCO}_3^-] = 0)$$

$$1 \text{ } ^\circ\text{f} = 12,2 \text{ mg/l HCO}_3^- \text{ (seuls ions bicarbonate si } [\text{HO}^-] = [\text{CO}_3^{2-}] = 0)$$

- c) **Conductivité** : Elle se mesure en μS (micro-siemens). Cela nous donne une idée générale sur la salinité et la minéralisation de l'eau. Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après : [18]

Tableau II.2: Les valeurs de conductivité des differents eaux (mS/cm).

Eau	Conductivité mS/cm
Eau bouillie � haute pression	$< 10^{-4}$
Eau déminéralisée	0,001 � 0,080
Eau potable	0,1 � 1
Eau us�e	0,85 � 9
Eau de surface	0,1 � 10
Eau de process industriel	8 � 130
Eau de mer	56
Eau saumure	100

Tableau II.3 : Normes des concentrations des eaux destinées à la consommation humaine[20]

Chlorures	200 mg/l (Cl)
Sulfates	250 mg/l (SO ₄)
Magnésium	50 mg/l (Mg)
Sodium..	150 mg/l (Na)
Potassium	12 mg/l (K)
Aluminium total	0,2 mg/l (Al)

À l'exception d'eaux ayant subi un traitement thermique pour la production d'eau chaude, pour lesquelles la valeur de 0,5 mg/l [Al] ne doit pas être dépassée)

- a) La quantité de résidus secs, après dessiccation à 180 degrés C, doit être inférieure ou égale à 1 500 mg/l.

➤ **II.2.2. Paramètres concernant des substances indésirables**

Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieure ou égales aux valeurs indiquées ci-après :

Tableau II.4 : Substances indésirable des concentrations destinées à la consommation humaine [20]

Nitrates	50 mg/l (NO ₃)
Nitrites	0,1 mg/l (NO ₂)
Ammonium	0,5 mg/l (NH ₄)
Azote Kjeldahl	1 mg/l (en N)
N de NO ₃ et NO ₂	exclus

➤ **II.2.3. Paramètres concernant des substances toxiques**

Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées :

Tableau II.5 : Substances toxiques [20]

Arsenic	50µg/l (As)
Cadmium	5 µg/l (Cd)
Cyanures	50 µg/l (CN)
Chrome total	50 µg/l (Cr)
Mercure	1 µg/l (Hg)
Nickel	50 µg/l (Ni)
Plomb	50 µg/l (Pb)
Antimoine	10 µg/l (Sb)
Sélénium	10 µg/l (Se)

Hydrocarbures polycycliques aromatiques :

Pour le total des 6 substances suivantes 0,2 µg/l

- Fluoranthène ;
- Benzo (3,4) fluoranthène ;
- Benzo (11,12) fluoranthène;
- Benzo (3,4) pyrène ;
- Benzo (1,12) pérylène ;
- Indéno (1,3) pyrène ;
- Benzo(3,4) pyrène ... 0,01 µg/l.

➤ II.2.4. Paramètres microbiologiques

- a) L'eau ne doit pas contenir d'organismes pathogènes, en particulier de salmonelles dans 5 litres d'eau prélevée, de staphylocoques pathogènes dans 100 ml d'eau prélevée, de " bactériophages fécaux dans 50 ml d'eau prélevée " et d'entérovirus dans un volume ramené à 10 litres d'eau prélevée[21]
- b) au moins des échantillons prélevés ne doivent pas contenir de coliformes dans 100 millilitres d'eau.
- c) L'eau ne doit pas contenir de coliformes thermo tolérants et de streptocoques fécaux, dans 100 ml d'eau prélevée.
- d) L'eau ne doit pas contenir plus d'une spore de bactéries anaérobies sulfite-réductrices par 20 ml d'eau prélevée.

- e) Lorsque les eaux sont livrées sous forme conditionnée, le dénombrement des bactéries aérobies revivifiées, à 37 degrés C et après vingt-quatre heures, doit être inférieur ou égal à 20 par millilitre d'eau prélevée, à 22 degrés Celsius et après soixante-douze heures, il doit être inférieur ou égal à 100 par millilitre d'eau prélevée. L'analyse est commencée dans les douze heures suivant le conditionnement.
- f) Lorsque les eaux sont livrées sous forme conditionnée, l'eau ne doit pas contenir de *Pseudomonas aeruginosa* dans 100 ml. [21]

II.3. Facteurs qui influencent la dureté des matériaux :

La dureté d'un matériau dépend de plusieurs facteurs, tels que la structure cristalline, la composition chimique, la microstructure, le traitement thermique, l'usinage et les contraintes appliquées. Par exemple, les matériaux avec une structure cristalline régulière, comme les métaux, ont tendance à être plus durs que les matériaux avec une structure amorphe, comme les plastiques. De même, le traitement thermique peut avoir un impact significatif sur la dureté d'un matériau[22].

La dureté est une propriété importante des matériaux qui peut être mesurée à l'aide de diverses méthodes. La dureté dépend de la structure, de la composition et du traitement du matériau, ainsi que des contraintes appliquées. Une bonne compréhension de la dureté des matériaux est essentielle pour la sélection et l'utilisation efficaces des matériaux dans diverses applications industrielles.

➤ II.3. 1.Impact de la dureté

❖ Sur la santé

La dureté de l'eau peut avoir un impact sur la santé de différentes manières. Les eaux dures sont connues pour contenir des niveaux élevés de calcium, de magnésium et d'autres ions, ce qui peut entraîner des dépôts de tartre et de calcaire dans les conduites d'eau, les appareils électroménagers et les robinets. Cela peut également rendre les savons et les détergents moins efficaces, ce qui peut irriter la peau et les yeux, et provoquer des problèmes de santé tels que l'eczéma et d'autres affections cutanées. Des études ont également montré une corrélation entre la dureté de l'eau et certaines maladies cardiovasculaires. Par exemple, une étude publiée dans le *Journal of Epidemiology and Community Health* a révélé que la consommation d'eau dure était associée à une incidence plus élevée de maladies cardiovasculaires. D'autres études ont suggéré une relation entre la dureté de l'eau et la pression artérielle, mais les résultats ne sont pas encore concluants.[23]

❖ Sur l'environnement

La dureté de l'eau peut également avoir un impact sur l'environnement. Lorsque l'eau dure est utilisée pour l'irrigation des cultures, les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient peuvent s'accumuler dans les sols et les rendre moins productifs. De plus, les eaux dures peuvent affecter les animaux aquatiques et les plantes en modifiant la qualité de l'eau et en perturbant les écosystèmes.[23]

La dureté de l'eau peut également avoir un impact sur les systèmes de traitement des eaux usées. Les sels de calcium et de magnésium peuvent s'accumuler dans les tuyaux et les canalisations, entraînant des obstructions et des coûts supplémentaires pour le nettoyage et la maintenance.[23]

❖ Industriels

La dureté de l'eau peut avoir un impact significatif sur les processus industriels. Les eaux dures peuvent provoquer des dépôts de tartre et de calcaire sur les équipements de production, les tuyaux et les canalisations, ce qui peut réduire l'efficacité des machines et augmenter les coûts de maintenance et de réparation. Les eaux dures peuvent également entraîner une réduction de la durée de vie des équipements et une augmentation de la consommation d'énergie pour maintenir les températures de fonctionnement. De plus, les eaux dures peuvent affecter la qualité des produits finis dans l'industrie alimentaire et des boissons. Par exemple, les sels de calcium et de magnésium peuvent se lier aux protéines et aux acides gras des aliments et des boissons, entraînant une diminution de la qualité et de la saveur des produits.[24]

a) Traitement de l'eau dure en industrie

Pour réduire l'impact de la dureté de l'eau sur les processus industriels, différentes méthodes de traitement peuvent être utilisées. Les méthodes de traitement courantes comprennent l'adoucissement de l'eau, la filtration, la précipitation et l'échange d'ions. L'adoucissement de l'eau est une méthode courante qui utilise des résines échangeuses d'ions pour remplacer les ions calcium et magnésium de l'eau par des ions sodium ou potassium. Cette méthode réduit les dépôts de tartre et de calcaire sur les équipements de production et prolonge la durée de vie des équipements.[24]

b) Impacts de l'industrie sur la qualité de l'eau dure

L'industrie peut également avoir un impact sur la qualité de l'eau dure en raison des rejets de produits chimiques et de métaux dans les cours d'eau et les sources d'eau. Les eaux de rejet de l'industrie peuvent contenir des niveaux élevés de métaux lourds, de produits chimiques toxiques et d'autres polluants, ce qui peut avoir un impact sur la qualité de l'eau et la santé des populations locales.[24]

II.4 Les Indicateurs colorés

L'utilisation d'indicateurs colorés dans l'étude de la dureté de l'eau remonte à plusieurs siècles. Depuis longtemps, les scientifiques et les chercheurs ont cherché des moyens de déterminer la présence de minéraux et d'ions dans l'eau, en particulier les ions de calcium et de magnésium qui contribuent à la dureté de l'eau. Les indicateurs colorés sont des substances chimiques capables de réagir avec ces ions et de produire une coloration distinctive, ce qui permet leur détection et leur mesure.

Les indicateurs colorés sont des substances chimiques qui changent de couleur en fonction du pH ou d'autres paramètres spécifiques dans une solution. Ils sont largement utilisés pour déterminer la dureté de l'eau, qui fait référence à la concentration de minéraux, notamment le calcium et le magnésium, présents dans l'eau. [25]

L'utilisation d'indicateurs colorés dans l'analyse de la dureté de l'eau offre plusieurs avantages. Premièrement, ils permettent une détermination rapide et visuelle de la dureté de l'eau sans nécessiter d'équipement de laboratoire sophistiqué. Deuxièmement, ils offrent une méthode économique et pratique pour surveiller la qualité de l'eau dans les systèmes domestiques, industriels et environnementaux.

Parmi les indicateurs colorés couramment utilisés pour évaluer la dureté de l'eau, on trouve l'EDTA (acide éthylènediaminetétraacétique) et les indicateurs complexes tels que l'éricrome noir T, le calmagite et l'EBT (acide ériochrome noir T). Ces indicateurs forment des complexes colorés avec les ions de calcium et de magnésium présents dans l'eau dure, ce qui permet une évaluation visuelle de la concentration de minéraux. [25]

Il convient de noter que les indicateurs colorés ne fournissent qu'une estimation approximative de la dureté de l'eau. Pour une mesure plus précise, des méthodes de titrage plus complexes ou des analyses en laboratoire peuvent être nécessaires.

Les indicateurs colorés jouent un rôle important dans l'étude de la dureté de l'eau et trouvent une large application dans divers domaines. Voici quelques domaines clés où les indicateurs colorés sont utilisés :

Analyse de l'eau potable : Les indicateurs colorés sont utilisés dans les laboratoires d'analyse de l'eau pour évaluer la qualité de l'eau potable. En mesurant la concentration d'ions de calcium et de magnésium, les indicateurs colorés permettent de déterminer si l'eau répond aux normes de potabilité en termes de dureté.

Traitement de l'eau : Les indicateurs colorés sont également utilisés dans le domaine du traitement de l'eau pour évaluer l'efficacité des processus de déminéralisation et d'adoucissement de l'eau. En surveillant les changements de couleur dus à la réduction de la dureté, les opérateurs peuvent ajuster les paramètres du traitement pour obtenir une eau de qualité optimale.

Recherche scientifique : Les indicateurs colorés sont utilisés dans la recherche scientifique pour étudier les propriétés chimiques de l[25]

II.5. Conclulsion

Dans ce chapitre, nous avons exploré la notion de dureté de l'eau, en examinant ses propriétés chimiques ainsi que les critères de qualité nécessaires pour que l'eau soit considérée comme potable. Nous avons également abordé l'impact de la dureté de l'eau dans divers domaines.

La dureté de l'eau est une caractéristique importante qui peut avoir un impact significatif sur de nombreux aspects de notre vie quotidienne. Elle est principalement causée par la présence de sels de calcium et de magnésium dissous dans l'eau. La dureté de l'eau peut être classée en deux catégories : la dureté temporaire et la dureté permanente.

Il est important de noter que la dureté de l'eau peut varier d'une région à l'autre, et même au sein d'une même région, en fonction des sources d'eau utilisées. Certaines régions ont naturellement une eau plus dure en raison de la composition géologique du sol, tandis que d'autres peuvent avoir une eau relativement douce. Il est donc essentiel de prendre en compte la dureté de l'eau lors de la planification des systèmes de distribution d'eau, des procédés industriels et des systèmes de traitement de l'eau.

En conclusion, la dureté de l'eau est une caractéristique importante qui peut avoir des effets variés sur notre vie quotidienne. Comprendre sa nature et ses impacts permet de prendre des mesures appropriées pour atténuer les problèmes potentiels associés à la dureté de l'eau. La gestion efficace de la dureté de l'eau est essentielle pour assurer une utilisation durable et efficiente de cette ressource précieuse.

II.6.References

- [11]-Ashby, M. F. (2005). Materials selection in mechanical design. Butterworth-Heinemann.
- [12]-Dieter, G. E. (1988). Mechanical metallurgy. Mcgraw-Hill.
- [13] Shrestha, A. K., & Basnet, N. (2018). The correlation and regression analysis of physicochemical parameters of river water for the evaluation of percentage contribution to electrical conductivity. Journal of Chemistry, 2018.
- [14] JoelG. 2003. La qualité de l'eau potable, technique et responsabilités, Paris, Novembre(2003).
- [15] Ledler, 1986. In Haoussa, N. 2013.Etude de la qualité des eaux des mélanges eau d'oued Biskra – Eau de Droh. Mémoire de master 2.Hydraulique urbaine, Université Mohamed
- [16] Sahraoui N. 2015. Etude de la cohérence entre la vulnérabilité à la pollution de la qualité des eaux souterraines plaine Khemis Miliana. Mémoire de Master en Eau et Bioclimatique. Université Khemis Miliana.
- [17] Khellili R., lazalid. 2015. Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Harraza (Wilaya de Ain Defla) (2005). Khider –Biskra : Faculté des sciences et de technologie.
- [18] Khammar H. 2018. Hydrochimie et qualité des eaux.
- [19] Menad. K, Metadger 2012. Traitement des eaux saumâtres par l'osmose inverse cas de l'eau de Khemis Miliana .Université Khemis Miliana.
- [20] JORA. 2014. Décret exécutif n° 14 - 96 du 2 Jomada El Oula 1435 correspondant au 4 mars 2014 modifiant et complétant le décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.
- [21] HAMED, N. (2018). Caractérisations physico chimiques et bactériologiques de l'eau traitée du barrage Bakhadda (Tiaret) (Doctoral dissertation, université ibn khaldoun-tiaret).

[22] Nieuwenhuijsen, M. J., et al. (2000). Drinking water hardness and cardiovascular disease: meta-analysis. Public Health Reports.

[23] Jean Rodier, Bernard Legube et Nicole Merlet, L'analyse de l'eau, Dunod, 2016

[24] Gray, N. F. (2010). Water technology: an introduction for environmental scientists and engineers. Elsevier.

[25] Jonathan PIARD, Ran BI, Aurélien BRION, Rémi PERRIN, Lei SHI, Clément DORÉ et Gilles CLAVIER -Utilisation d'un tampon universel pour l'étude d'indicateurs colorés acido-basiques -ENS Paris-Saclay - 94235 Cachan Cedex

Chapitre III

Méthodes d'analyses et de caractérisations

III. Caractéristiques spectrales

Dans cette partie, nous avons réalisé plusieurs techniques d'analyse spectrale impotentes pour déterminer la structure cristalline de deux colorants et de deux produits chimiques utilisés pour le dosage par complexométrie pour le but de déterminer la dureté de l'eau.

Les structures cristallines et l'état énergétique vibrationnel des molécules (**Noir T**, **Bleu de méthylène**) et (**EDTA**, **CaCO₃**), sera détecté par l'analyse infra rouge(IR), l'effet de la décoloration de colorant sera remarqué par une analyse UV, l'acidité sera examinée par le pH, la conductivité par un conductimètre, la turbidité par un turbidimètre et enfin la densité par un densimètre.

III.1. Analyse par infrarouge

La spectroscopie infrarouge est une technique largement utilisée pour l'identification des groupements fonctionnels. Elle permet de visualiser les bandes spectrales dans la plage du proche infrarouge ($10000-4000\text{ cm}^{-1}$), ce qui fournit des informations sur les vibrations des liaisons cation-oxygène et la forme des liaisons.

Pour l'analyse, tous les échantillons ont été soumis à la spectrophotométrie infrarouge par transformée de Fourier (FTIR) en utilisant un spectromètre PYE UNICAM PHILIPS. La plage spectrale couvrait de $4000\text{ à }400\text{ cm}^{-1}$. Les échantillons ont été préparés sous forme de dispersion dans une pastille de KBr, avec un rapport de 1/200 en poids.[30]



Figure III.1 : Appareil spectrophotomètre infrarouge à transformée fourier (FTIR)

III.2. La spectrophotométrie UV-Visible

La spectroscopie UV-Visible est une technique qui permet d'obtenir des informations qualitatives sur la nature des liaisons présentes dans un échantillon, ainsi que de déterminer quantitativement la concentration des espèces absorbantes dans cette région spectrale.

La spectrophotométrie UV-visible repose sur l'étude des changements d'intensité de la lumière lorsqu'elle traverse une solution colorée, dans une plage de longueurs d'onde allant de 200 à 750 nm. Cette technique est utilisée pour déterminer les concentrations des substances absorbantes présentes dans l'échantillon. [31]

Le résultat correspond à des spectres d'émission ou d'absorption, qui ressemble à des courbes de variation d'absorption en fonction de la longueur d'onde, Il est caractérisé par la longueur d'onde la plus absorbée (λ_{max}), et l'aptitude la plus importante à absorber les photons à cette longueur d'onde (λ_{max}). [31]



Figure III.2 : Appareil spectrophotométrie UV-Visible

➤ III.2.1.Principe de la spectroscopie UV - Visible

L'interaction électromagnétique est l'une des forces fondamentales décrites par le modèle unifié. Elle est responsable de l'interaction entre une onde électromagnétique et une particule chargée. Un exemple concret de cette interaction est l'interaction entre la matière et le rayonnement. À l'échelle atomique, la matière est constituée d'un assemblage de particules élémentaires, et donc l'énergie associée à cette matière n'est pas continue, mais plutôt discrète. Cela signifie que l'énergie ne peut prendre que des valeurs spécifiques et quantifiées. [31]

➤ III.2.2.Appareillage et fonctionnement

La détermination des longueurs d'onde des rayonnements électromagnétiques absorbés se fait grâce à l'utilisation d'un spectrophotomètre.

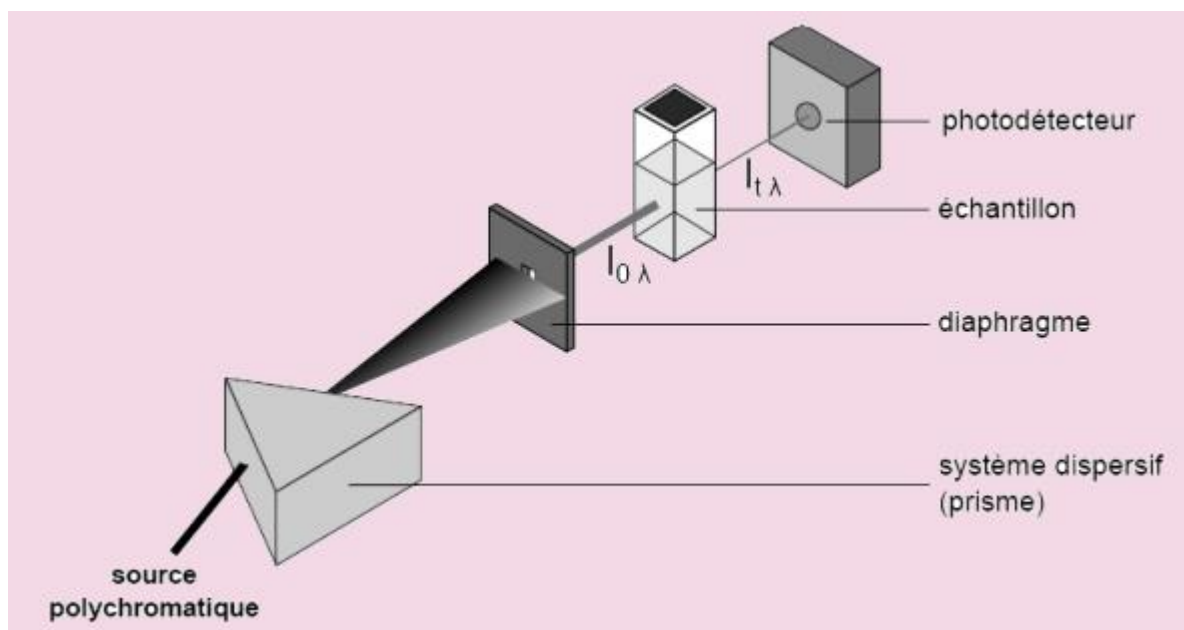


Figure III.3. Principe de fonctionnement d'un spectromètre UV-visible

Le passage du rayonnement polychromatique à travers un prisme permet sa décomposition en différentes longueurs d'onde. Une source polychromatique émettant dans l'UV ou le visible est placée devant le prisme, qui agit comme un système dispersif. En orientant correctement le système diaphragme-échantillon-photo détecteur, la solution contenue dans la cuve est exposée à un rayonnement quasi monochromatique. Le diaphragme, qui consiste en une fente fine, permet d'illuminer l'échantillon avec un faisceau de faible largeur, garantissant ainsi une bonne qualité monochromatique. La photo détecteur mesure ensuite l'intensité du rayonnement transmis à travers la solution échantillon, notée $I_{t,\lambda}$. Cette configuration expérimentale permet d'obtenir des informations sur l'absorption du rayonnement par la solution échantillon à une longueur d'onde spécifique, ce qui peut être utilisé pour caractériser les propriétés de la substance contenue dans la cuve. [31]

➤ III.2.3.La loi de Béer-Lambert

Le domaine spectral de l'UV-Visible est largement exploité en analyse quantitative. La loi de Béer- Lambert est une loi additive qui s'applique aux différentes molécules présentes en solution ou pour une même molécule aux différentes formes qu'elle peut prendre [31].

La loi de Béer-Lambert sert à établir une relation entre l'absorbance, l'épaisseur de l'échantillon et la concentration des espèces absorbantes.

Cette relation s'écrit : $\text{Log}_{10} (I_0/I) = \epsilon \cdot C \cdot l$ (III.1)

Ou bien sous sa forme actuelle est : $A : \epsilon \cdot C \cdot l$ (III.2)

Avec :

A : absorbance

ϵ : Coefficient d'extinction ($\text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{L}$).

C : Concentration (mol/L)

l : Epaisseur de la cuve (cm).

I_0 : Intensité de l'énergie d'irradiation arrivant sur l'échantillon (Lumière incidente)

I : Intensité de la radiation qui a travers  l'échantillon (Lumière transmise)

III.3. La pH-meter

Le pH-mètre est un instrument scientifique qui mesure l'activité des ions hydrogène dans les solutions à base d'eau, indiquant son acidité ou son alcalinité exprimée en pH. [32]

Le pH-mètre mesure la différence de potentiel électrique entre une électrode de pH et une électrode de référence, et ainsi le pH-mètre est parfois appelé « pH-mètre potentiométrique ». La différence de potentiel électrique est liée à l'acidité ou au pH de la solution. [32]

➤ III.3.1. Définition

Le pH est la mesure de l'acidité ou la basicité d'une solution.

pH : potentiel hydrogène = $-\log [H_3O^+]$

En réalité, seuls les ions participent à la réaction :

$\text{pH} = -\log a_{H_3O^+}$ (III.3)

a : activité = $\gamma [H_3O^+]$

γ : coefficient d'activité (compris entre 0 et 1)

Produit ionique de l'eau $[H_3O^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14}$ à 25 C.

✓ la concentration de H_3O^+ varie de 1 à 10^{-14} mol/L

✓ échelle de pH, de 0 à 14

Influence de la température : déplace l'équilibre ionique

Ex. :   60 C, le pH de l'eau est de 6,51 (Les variations importantes du pH sont presque toujours la conséquence de rejets industriels) [33].



Figure III.4:pH meter SP-2500

III.4. Conductimètre

La conductivité électrique caractérise la situation d'un matériau ou d'une solution à laisser les charges électriques se déplacer librement et donc permettre le passage d'un courant électrique. [34] Electrolyte : c'est une solution dans l'eau. Un sel est un composé ionique composé de cations et d'anions, formant un produit neutre sans charge net. C'est un milieu conducteur dans lequel les ions se déplacent sous l'effet d'un champ électrique.

Conductance : inverse de R [35]

$$\text{Loi d'Ohm : } U = R \cdot I \quad (\text{III.4})$$

$$R = (1/G) \cdot I \quad (\text{III.5})$$

- ✓ Mesure: cellule conductimétrique.
- ✓ Factor d'influence :
- ✓ caractéristique de la cellule
- ✓ la nature et la concentration des ions

$$G = \sigma \cdot (S/l) \quad (\text{III.6})$$

σ : conductivité

S : surface des électrode

l : largeur entre les électrodes

G : conductance S/m

Conductivité σ :

$$\sigma = \sum (z_i \cdot C_i \cdot \lambda_i) \quad (\text{III.7})$$

z_i : charge de l'ion

C_i : concentration ion

λ_i : conductivité molaire ionique

La conductivité molaire ionique dépend de la nature de l'ion, du solvant, de la température et de la concentration. La valeur est donnée dans les tables à dilutions infinies.



Figure III.5 : Conductimètre de pailleasse

III.5. Turbidimètre

La turbidité désigne la teneur d'une eau en particules suspendues qui la troublent. On mesure la turbidité en unités de turbidité néphalométriques (NTU) à l'aide d'un turbidimètre. Cet instrument envoie un rayon de lumière à travers un échantillon d'eau et mesure la quantité de lumière qui passe à travers l'eau par rapport à la quantité de lumière qui est réfléchiée par les particules dans l'eau. Pour pouvoir traiter l'effluent, il ne faut pas simplement le laisser décanter car il comporte en solution des particules colloïdales, qui du fait de leur charge similaire (tous électronégatifs), se repoussent et retardent la décanation naturelle. Dans un premier temps, nous chercherons à faire coaguler notre effluent en ajoutant le meilleur coagulant avec son volume optimal afin de concilier un bon rendement épuratoire et une consommation minimale de produit .[36]



Figure III.6 : Turbidimètre

III.6.Densimètre

Le densimètre est un instrument de mesure utilisé pour déterminer la densité d'un liquide ou d'un solide. Il repose sur le principe de la mesure de la force d'Archimède qui est égale au poids du fluide déplacé par un objet plongé dans ce fluide. La densité est calculée en mesurant la masse de l'objet et la force d'Archimède qu'il subit lorsqu'il est immergé dans le fluide. Plus la densité du fluide est élevée, plus la force d'Archimède est grande. Le densimètre peut être utilisé pour mesurer la densité de nombreux liquides tels que l'eau, l'huile, les produits chimiques, les solutions, les boissons alcoolisées, etc. Il peut également être utilisé pour mesurer la densité de certains solides comme les minéraux, les plastiques, les métaux. Le principe de fonctionnement du densimètre est basé sur la loi d'Archimède qui détermine la densité de la substance présente dans la solution. La mesure est effectuée en plongeant le densimètre dans le liquide et en mesurant le niveau auquel il flotte. La densité est calculée en

comparant la hauteur de flottaison dans la solution inconnue avec celle de la solution de référence [37]



Figure III.7 : densimètre

III.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré différentes méthodes d'analyses et de caractérisations des eaux. Nous avons examiné les outils et les techniques utilisés pour évaluer la qualité de l'eau, identifier les contaminants et comprendre sa composition chimique.

Nous avons discuté des méthodes classiques telles que l'analyse physico-chimique, qui inclut des mesures de paramètres tels que le pH, la conductivité, la turbidité et la dureté de l'eau et la densité. Nous avons également abordé les techniques d'analyse chimique, comme la spectrophotométrie UV-visible et la spectroscopie infrarouge, qui permettent d'identifier et de quantifier les composés présents dans l'eau.

En conclusion, les méthodes d'analyses et de caractérisations des eaux jouent un rôle essentiel dans l'évaluation de la qualité de l'eau et la détection des contaminants. Grâce à ces techniques, il est possible de surveiller et de contrôler la qualité de l'eau dans divers contextes tels que l'approvisionnement en eau potable, l'industrie et l'environnement. La combinaison de méthodes traditionnelles et de technologies avancées offre une meilleure compréhension de la composition chimique et de la contamination des eaux, contribuant ainsi à la préservation de cette ressource vitale pour la santé humaine et l'écosystème.

III.8.References

- [30] Anane - bensouilah – bouadi la -spectroscopie infrarouge a Transformee de fourier (ftir) octobre 2010(manuel d'utilisation (sop) des Équipements et des materiaux)
- [31] Skoog, d. A., holler, f. J., & crouch, s. R. (2017). Principles of instrumental analysis. Cengage learning.
- [32] Atkins, p., & jones, l. (2010). Chimie generale: structure de la matiere. De boeck superieur
- [33] Yung chi wu ; william f ; richard - standardization of ph measurements (nbs special publication 260-53)
- [34] Wikipédia l'encyclopédie libre , Conductimètre , 27 mai 2023
- [35] Conductimetrie : definitions de la conductivite et de la conductance (lachimie.fr)
- [36] Iso 7027:1999 (f) qualite de l'eau — determination de la turbidite (troisieme edition).
- [37] J. W. Demorest and e. L. Willighagen, "archimedes' principle: from ancient greece to modern microscopy," microscopy today, vol. 25, no. 5, pp. 38-43, sep-oct. 2017

CHAPITRE IV

ETUDE EXPERIMENTALE

Etude de caractérisations physico-chimiques de la dureté de l'eau

IV. Propriétés spectrales et structurales

La méthode d'analyse spectrale utilisée est la spectrophotométrie UV visible. La première étape est la détermination de la longueur d'onde maximale (λ max) appartient à l'intervalle de 200 à 700nm des deux colorants (Noir T, Bleu de méthylène). Nous avons étudié l'effet des principaux paramètres ayant une influence sur la dureté, le pH, la conductivité la turbidité, la densité et la température.

Les structures cristallines et l'état énergétique vibrationnel des molécules CaCO_3 , EDTA, et Noir T, Bleu de méthylène seront détectés par les appareils IR. L'effet de la décoloration de colorant sera remarqué par une analyse UV, l'acidité sera examinée par le pH, la turbidité par un turbidimètre, et la conductance par conductimètre et en fin la densité par un densimètre

IV.1 Spectre IR

➤ IV.1-1 Spectre IR du CaCO_3

La spectroscopie infrarouge est une technique analytique simple permettant de déterminer la présence de divers groupes fonctionnels, [38] la spectroscopie IR se réalise sur les interactions des radiations électromagnétiques avec les molécules ou les atomes. L'appareil utilisé est de type spectromètre infrarouge à transformée de Fourier Perkin Elmer FT-IR. L'analyse a été faite sur des disques au KBr à 3% du produit. L'absorbance dans le spectre infrarouge (IR) mesure l'absorption de la lumière par l'échantillon à différentes fréquences. Dans le cas du CaCO_3 , les pics observés dans la plage de 300 à 4100 cm^{-1} correspondent à des vibrations moléculaires spécifiques.

Le CaCO_3 est composé de calcium (Ca), de carbone (C) et d'oxygène (O). Les pics dans le spectre IR sont dus à l'absorption de l'énergie lumineuse par les liaisons chimiques présentes dans les molécules de CaCO_3 .

Chaque type de liaison chimique a une fréquence caractéristique à laquelle elle absorbe l'énergie lumineuse, ce qui crée des pics distincts dans le spectre.

La calcite ou carbonate de calcium (CaCO_3) est caractérisée par les trois modes de délongation C-O du groupement carbonate, qui apparaissent sous forme d'un triplet constitué

- d'une bande d'absorption large et intense à 1 459 cm^{-1} ,
- d'une bande fine et intense à 874 cm^{-1} ,
- d'une bande fine et faible à 712 cm^{-1} .

Ces trois bandes sont accompagnées d'harmoniques à $2\,976\text{ cm}^{-1}$, $2\,872\text{ cm}^{-1}$, $2\,510\text{ cm}^{-1}$ et $1\,797\text{ cm}^{-1}$

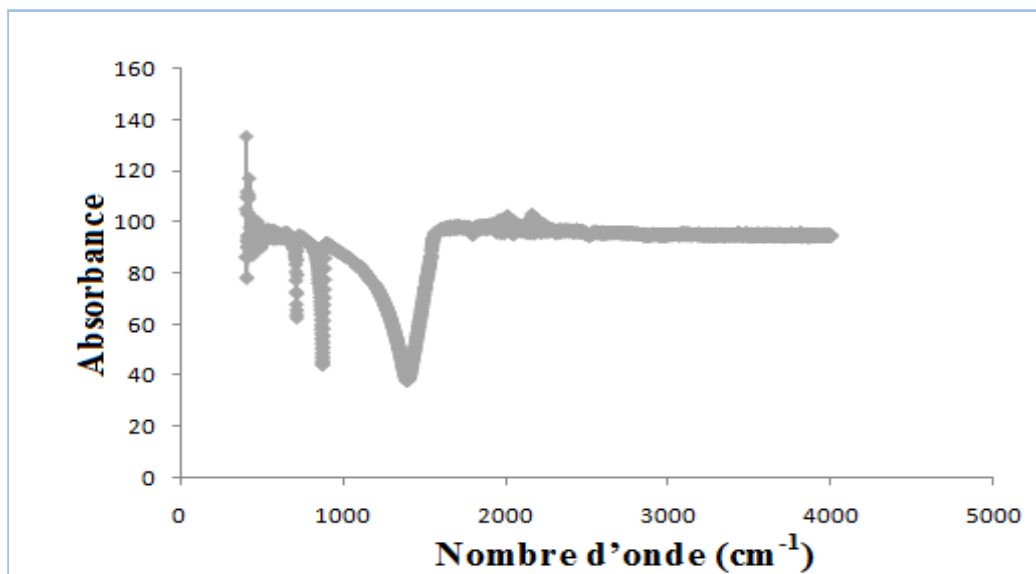


Figure IV.1 : Spectre IR de CaCO_3

➤ **IV.1-2 Spectre IR du di sodique de l'acide l'éthylène diamine tétra-acétique (E.D.T.A)**

Le spectre IR de l'EDTA présente des absorbances dans la plage de fréquences de 400 à 4500 cm^{-1} , avec des valeurs d'absorbance allant de 26 à 120. L'interprétation de ce spectre suggère la présence d'absorptions spécifiques dans cette gamme de fréquences, qui sont attribuées aux liaisons chimiques présentes dans la molécule d'EDTA. Ces absorptions sont influencées par les groupes fonctionnels caractéristiques de l'EDTA, tels que les liaisons carboxylates et les liaisons amines.

L'absorption des pics pour le groupe carbonyle est située à 1690 cm^{-1} pour EDTA :

Zone 1 (entre $400\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$) : on y trouve la plupart des bandes de vibration d'élongation ;

Zone 2 ($1300\text{-}600\text{ cm}^{-1}$) : on y trouve la plupart des bandes de vibration de déformation (zone souvent difficile à analyser, appelée zone des empreintes digitales) ;

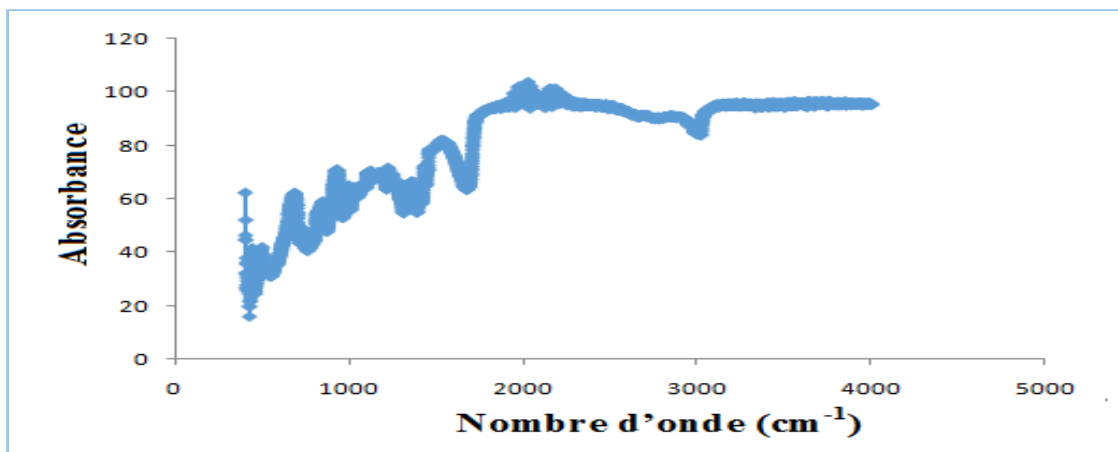


Figure. IV.2 : Spectre IR dedi sodique de l'acide éthylène-diaminetétracétique (E.D.T.A)

➤ **IV.1-3 Spectre IR de Noir T**

Dans le spectre infrarouge du colorant Noir Ériochrome T, on observe une plage de faible taux d'absorption entre 500 et 1700 cm⁻¹. Cela indique que les vibrations moléculaires associées aux groupes fonctionnels présents dans cette plage spécifique ont une absorption minimale d'énergie infrarouge. Cependant, à partir de la plage de 700 cm⁻¹ jusqu'à 4200 cm⁻¹ le taux d'absorption augmente. Cette augmentation d'absorption indique que des vibrations moléculaires spécifiques dans cette plage d'énergie infrarouge sont plus actives.

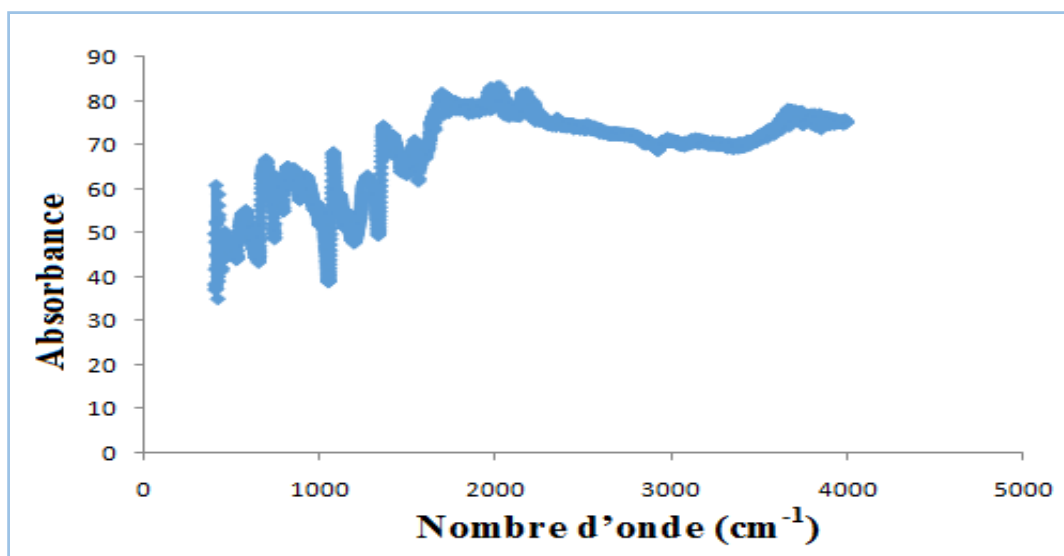


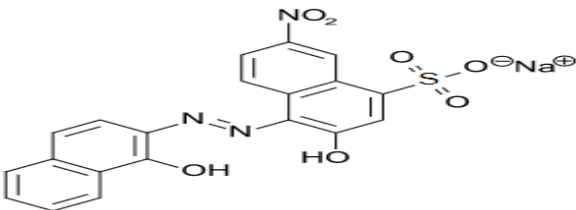
Figure. IV.3 : Spectre IR de Noir T

IV.2 Caractéristiques physico-chimiques des colorants

➤ IV.2 .1.Le colorant Noir ériochrome T

Le colorant noir ériochrome T est un colorant chimique utilisé en chimie analytique pour la détermination de divers ions métalliques. Cette teinture noire est un dérivé de l'ammonium quaternaire, soluble dans l'eau et présente une absorption dans la région du spectre visible. Il est couramment utilisé comme indicateur coloré dans les titrages complexes, notamment pour la mesure des ions calcium, magnésium et zinc. Le noir ériochrome T forme des complexes stables avec ces ions, ce qui permet leur dosage précis et quantitatif dans les échantillons.[39]

Tableau IV.1 : Les principales caractéristiques physico-chimiques du Noir T [39]

Structure	
LD50	17590 mg/kg (par voie orale, rats).
Abréviation	NET et ERIOT.
Apparence	poudre noire, inodore
Solubilité	soluble dans l'eau, l'éthanol et le méthanol.
Nom IUPAC	Chrome black T, 2-Hydroxy-1-(1-hydroxy-2-naphthylazo)-6-nitronaphthalene-4-sulfonic acid sodium salt
Formule brute	$\text{HOC}_{10}\text{H}_6\text{N}=\text{NC}_{10}\text{H}_4(\text{OH})(\text{NO}_2)\text{SO}_3\text{Na}$ OU $\text{C}_{20}\text{H}_{12}\text{N}_3\text{NaO}_7\text{S}$.
Groupe chimique	Indicateurs, teintures, taches.
Masse molaire g/mol	$461,38 \pm 0,025$ g/mol ; C 52,06 %, H 2,62 %, N 9,11 %, Na 4,98 %, O 24,27 %, S 6,95 %.
Solubilité dans l'eau (g/l) à 20°C	50 g·L ⁻¹
pH	3.7 (10 g/l, H ₂ O, 20 °C)
Densité (kg/m³)	400 - 600 kg/m ³
Pureté(%)	99
λ_{max} (nm)	400 - 510

C'est un colorant synthétique, dont la dégradation est difficile.

Le NET aqueux est un indicateur coloré dont la couleur dépend du pH, il est :

- Bleu en solution de pH voisin de 9 ($12 > \text{pH} > 5$) ;
- Pourpre an milieu nettement basique ($\text{pH} > 12$) ;
- Rose pâle en milieu nettement acide ($\text{pH} < 5$).

Lors de la mesure de la dureté de l'eau, on dose les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . Pour cela, on ajoute à l'eau, une faible quantité de NET de telle sorte que uniquement environ 1% des ions de l'eau sera complexe, mais ce qui important c'est la coloration de la solution en rouge bordeaux. A partir d'une solution d'EDTA, de concentration connue, on commence à doser la solution de couleur rouge bordeaux. Lors de ce dosage, la réaction de Complexion entre les 99% des ions restants et l'EDTA est en train de se faire. Une fois ceci termine, la réaction decomplexion va se propager vers les ions M^{2+} complexés avec le NET et libère et libère lesmolécules du NET, ce qui se traduit par un changement de couleur vers le bleu. Le viragePeut se faire juste sous l'effet d'une goutte supplémentaire d'EDTA. Le NET est aussi un polyacide qu'on note H_2In dont la forme prépondérante dépend du pH de la solution : [38]

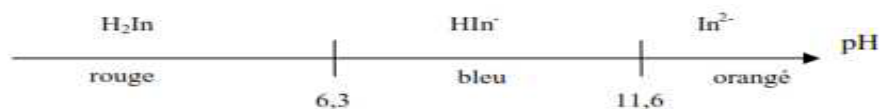


Figure. IV.4 .Domaine du pH par couleur du noir T

IV.2.1.1 Etalonnage de la solution

La méthode d'analyse utilisée est la spectrophotométrie UV visible. La première étape est la détermination de la longueur d'onde maximale (λ_{max}) appartient à l'intervalle de 200 à 700nm des deux colorants (Noir T et Bleu de méthylène). Nous avons étudié l'effet des principaux paramètres ayant une influence sur la dureté, le pH, la conductivité la turbidité, la densité et la température.

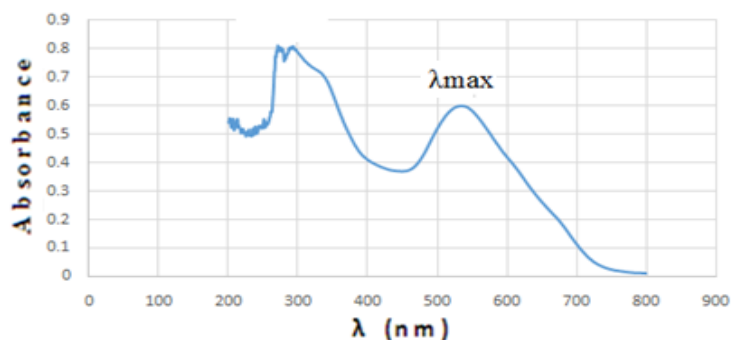


Figure IV.5 : Longueur d'absorbance (λ_{max}) du colorant Noir T

Tableau IV.2 : valeur de λ_{\max} du colorant Noir T

Colorant	Noir T
λ_{\max} (nm)	550

➤ **IV.2 .2. Le colorant Bleu de méthylène**

Le bleu de méthylène est un composé organique (de son vrai nom methylthionium chlorure) utilisé dans de nombreux domaines, notamment la médecine et comme colorant. Il sert d'indicateur coloré redox : sa forme oxydée est bleue alors que sa forme réduite est incolore. Le bleu de méthylène est un antiseptique à faible action fongicide et bactéricide.

On en trouve dans beaucoup de pharmacies ou à défaut dans les drogueries et les magasins de produits chimiques[38]


Figure IV.6 Domaine du pH par couleur du bleu de méthylène

Tableau IV.3 : Les principales caractéristiques physico-chimiques du Bleu de méthylène[38]

Structure	
Nom	Bleu de méthylène (BM)
Nom UICPA	chlorure de 3,7-bis(diméthylamino)phénothiazin-5-ium
Formule brute	C ₁₆ H ₁₈ N ₃ SCl
Masse molaire g/mol	320 g/mol
Solubilité dans l'eau (g/l) à 20°C	40 g L ⁻¹ à 20 °C
pH à 25°C	5,9
DL50	1,18 g kg ⁻¹⁴ (souris)
Point de fusion °C	180°

Etat physique	Solide
λ_{\max} (nm)	665 nm
Famille	Colorants Basiques
Appellation chimique	chlorure de 3,7-bis(diméthylamino)phénazathionium, Bleu Basic 9, chlorure de tétraméthylthionine
Dimensions (A°)	15 (diamètre)

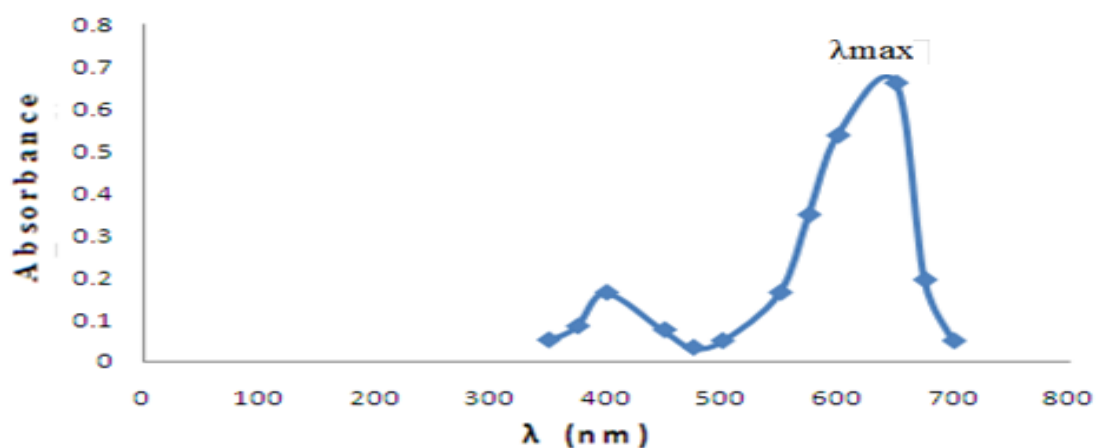


Figure IV.7 : Longueur d'absorbance (λ_{\max}) du colorant Bleu de méthylène

Tableau IV.4 : valeur de λ_{\max} du l'adsorbat Bleu de méthylène

Absorbance	BM
λ_{\max} (nm)	660nm

IV.3 Etude de complexiométrie du carbonate de calcium par EDTA

Dans ce travail on s'est intéressé à la complexométrie du carbonate de calcium par EDTA en présence de deux indicateurs colorés (Noir T et le bleu de méthylène) pour le but de déterminer le titre hydrométrie (TH). Une solution de carbonate de calcium à la concentration de 0.1 g/l a été préparée au laboratoire. Dans chaque expérience, on prend 50ml de CaCO_3 à différentes concentrations qui varient de 10mg, 15mg, 20mg, 25mg, 30mg 50mg et on ajoute 5ml d'une solution tampon à pH =10 puis un indicateur coloré (Noir T, bleu de méthylène) et on commence le dosage

➤ **IV.3-1 Détermination de la dureté de l'eau par complexométrie en présence de Noir T et Bleu de méthylène**

La complexométrie est une technique analytique utilisée pour déterminer les concentrations absolues des ions métalliques dans les solutions. Cette méthode repose sur la formation de complexes stables dont la constante de formation est connue avec les ions métalliques à quantifier. On ajoute une solution spécifique d'un agent complexant (tel que l'EDTA) à l'échantillon contenant les ions métalliques souhaités. Une réaction se produit entre l'agent complexant et les ions métalliques pour former des complexes. Par la suite, la concentration des ions métalliques est déterminée en mesurant la quantité de l'agent complexant réactif qui reste après la formation des complexes. La complexométrie permet ainsi une analyse précise et quantitative des ions métalliques dans les échantillons. Dureté totale - ou titre hydrotimétrique - d'une eau est définie par la quantité d'ions calcium Ca^{+2} (dureté calcique) et magnésium Mg^{+2} (dureté magnésienne) présents dans cette eau. Elle s'exprime en °TH (degré hydrotimétrique). Les eaux courantes sont caractérisées par des degrés hydrotimétriques français échelonnés entre 0 et 50. Certaines eaux minérales possèdent une forte teneur en ions de calcium et de magnésium, ce qui est au contraire recherché car ces ions confèrent à l'eau des propriétés diététiques.

a) Principe

La dureté totale d'une eau est définie par la quantité d'ions calcium Ca^{+2} (dureté calcique) et magnésium Mg^{+2} (dureté magnésienne) présents dans cette eau. Elle s'exprime en °TH (degré hydrotimétrique). Un degré français (°f) équivaut aussi à 4mg de calcium par litre et à 2,4 mg de magnésium par litre, un degré français équivalent à 10ppm CaCO_3 . Forte dureté de l'eau est responsable de la détérioration de la robinetterie et rend difficile l'utilisation et le rinçage des détergents.[40]

Les ions calcium et magnésium réagissent avec l'EDTA selon les réactions totales :



➤ **Paillasse**

- Erlen meyer, Burette graduée, Béchers (100ml), Eprouvette graduée, Entonnoir

➤ **Réactif**

- ✓ Une solution tampon ammoniacal pH=10.
- ✓ Une solution EDTA 0.05N
- ✓ Eau distillée

- ✓ Solution NET
- ✓ Solution Bleu de méthylène
- ✓ Solution de Concentration CaCO₃ (10mg, 15mg, 20mg, 25mg, 30mg 50mg)

b) Dosage

1. Ouvrir le robinet de la burette afin que la solution d'EDTA s'écoule doucement dans le bécher du dosage
2. Fermer le robinet dès que la solution du bécher devient rouge et fini bleue pour l'indicateur coloré noir eriochrome t et devient bleu et fini incolore pour le bleu de méthylène
3. Noter le volume V_{eq} de solution d'EDTA versée

$$1^{\circ}TH = 1 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1} ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]). \quad (IV.3)$$

$$[Ca^{2+}] = N_1 * V_{eq} / V_2 * 40 \quad (IV.4)$$

$$[Mg^{2+}] = TH^{\circ} - [Ca^{2+}] \quad (IV.5)$$

✚ Effet du pH

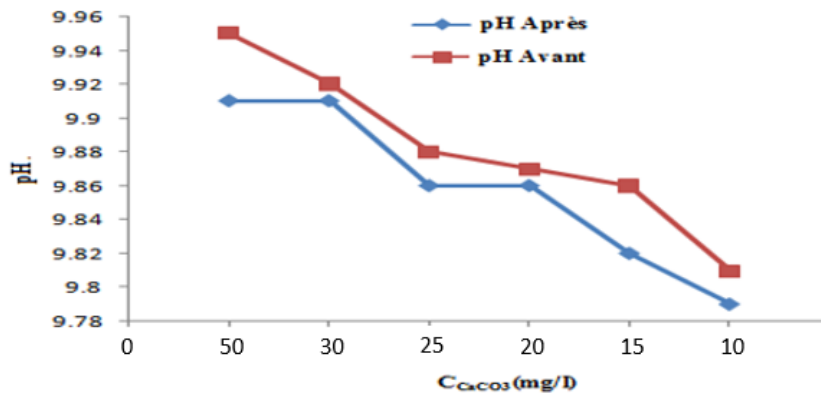


Figure IV.8 : Effet du pH du CaCO₃ en présence de Noir T

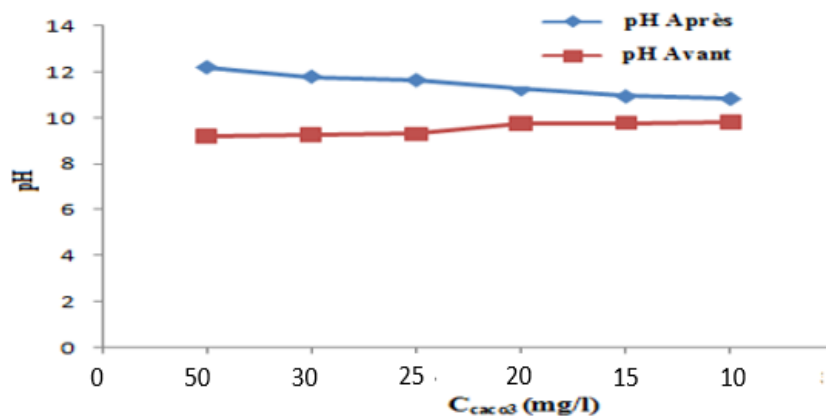


Figure IV.9 : Effet du pH du CaCO₃ en présence de Bleu de méthylène

On peut utiliser le pH comme indicateur de la concentration des ions hydrogène dans l'eau. Généralement, la valeur du pH diminue à mesure que la concentration de calcaire diminue dans l'eau. Cela est dû au fait que le calcaire, ou carbonate de calcium, a tendance à réagir avec les ions hydrogène présents dans l'eau, ce qui réduit leur concentration et fait baisser le pH. Par conséquent, lorsque la concentration de calcaire diminue, moins d'ions hydrogène réagissent avec le calcaire, ce qui entraîne une diminution du pH de l'eau. Lorsque le EDTA est ajouté à l'eau, il réagit avec les ions calcium et magnésium présents dans l'eau. Cette réaction forme des complexes stables entre l'EDTA et les ions métalliques, formant ainsi des composés insolubles. Lorsque ces complexes EDTA-métal se forment, ils consomment les ions hydrogène présents dans la solution. Cela entraîne une diminution de la concentration des ions hydrogène et donc une diminution du pH. En d'autres termes, lorsque le EDTA est ajouté, il y a une compétition entre les ions hydrogène et les ions calcium et magnésium pour former des complexes avec le EDTA. Étant donné que le EDTA a une plus grande affinité pour se lier aux ions métalliques, il consomme les ions hydrogène et entraîne une diminution du pH de la solution.

Effet de la conductivité

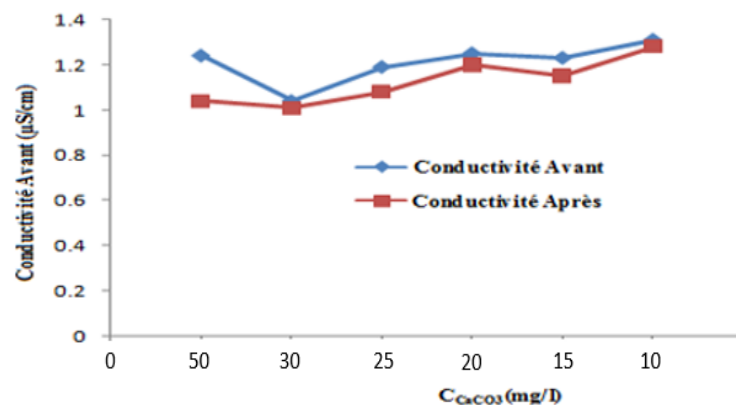


Figure IV.10 : Effet de la conductivité du $CaCO_3$ en présence du Noir T

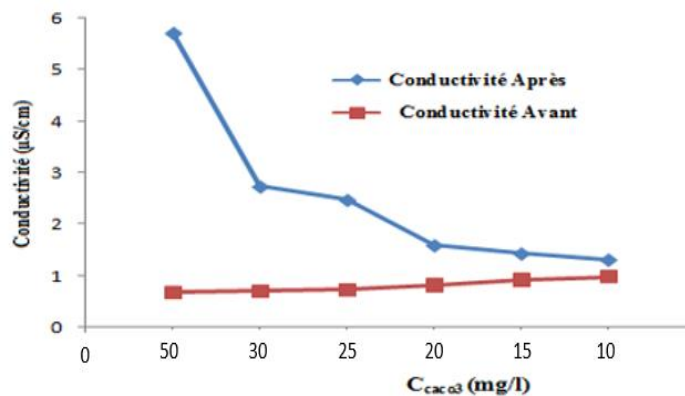


Figure IV.11- Effet de la conductivité du $CaCO_3$ en présence du Bleu de méthylène

Dans cette expérience, l'ajout d'EDTA à l'eau entraîne une diminution de la conductivité électrique, également appelée négativité. L'EDTA réagit avec les ions calcium et magnésium présents dans la solution, formant ainsi des complexes insolubles et stables. Ces complexes insolubles réduisent la concentration des ions conducteurs dans la solution, ce qui conduit à une diminution de la conductivité électrique. Par conséquent, après l'ajout d'EDTA, il est prévu d'observer une diminution de la conductivité électrique de la solution. Cette diminution est due à la formation de complexes insolubles qui lient les ions calcium et magnésium, réduisant ainsi leur disponibilité pour transporter les charges électriques dans la solution.

Effet de la turbidité

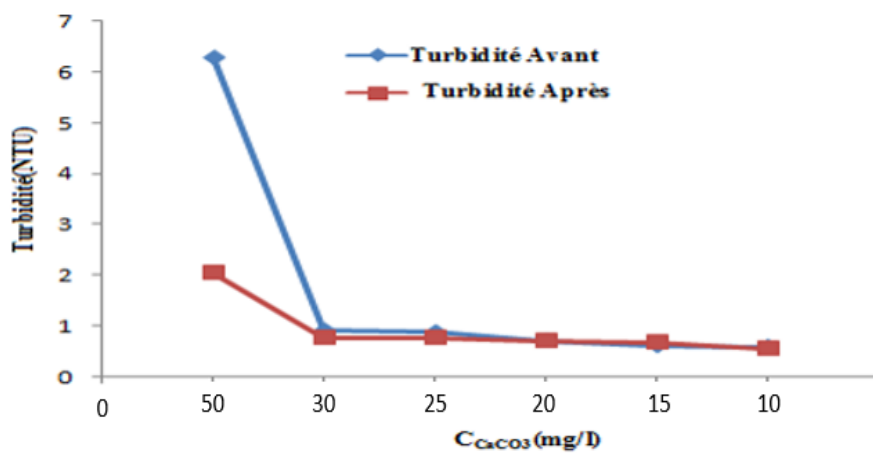


Figure IV.12 : Effet de la turbidité du $CaCO_3$ en présence de Noir T

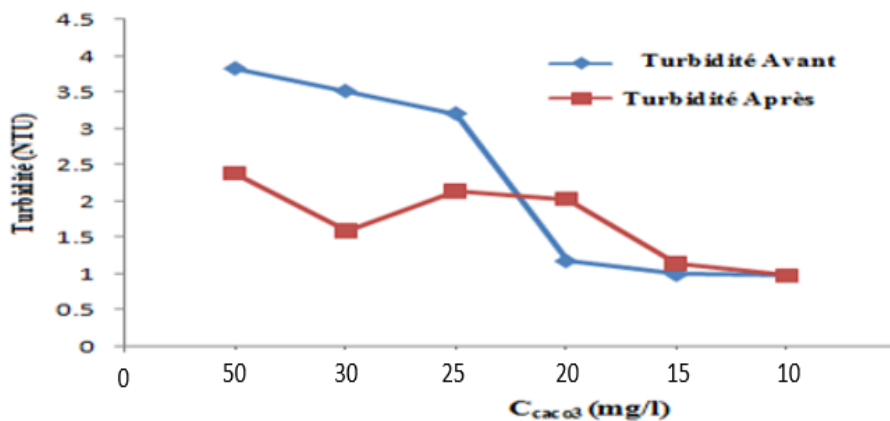


Figure IV.13 : Effet de la turbidité du $CaCO_3$ en présence du Bleu de méthylène

La turbidité de l'eau peut être affectée par l'ajout de bleu de méthylène et la présence de particules de calcaire. Lorsque le bleu de méthylène est ajouté, il peut former des complexes avec les particules de calcaire présentes dans la solution. La formation de ces complexes peut

entraîner une diminution de la turbidité de l'eau après réaction, en particulier lorsque la concentration en calcaire est élevée. Cependant, la réaction entre le bleu de méthylène et les particules de calcaire peut également conduire à une augmentation de la turbidité de l'eau, notamment lorsque la concentration en calcaire est faible. Cela peut être dû au fait qu'il y a moins de particules disponibles pour former des complexes avec le bleu de méthylène, ce qui peut entraîner une augmentation de la turbidité après réaction. L'ajout d'EDTA à l'eau pour complexer les ions calcium et magnésium peut aider à éliminer les particules de CaCO_3 de l'eau, ce qui peut réduire la turbidité de l'eau. Cependant, il est important de noter que la réduction de la turbidité peut varier en fonction de la concentration de CaCO_3 . À des concentrations plus élevées, la réduction de la turbidité peut être plus significative, car il y aura plus de particules de CaCO_3 en suspension dans l'eau. À des concentrations très faibles, la réduction de la turbidité peut être moins prononcée, car il y aura moins de particules de CaCO_3 en suspension dans l'eau.

Effet de la concentration

En approche très simplifiée et pour savoir combien de gouttes vous devez ajouter, il vous suffit de savoir que 1 ml équivaut environ à 30 gouttes. Le nombre de gouttes se calcule à partir du volume équivalent nécessaire lors du dosage

➤ L'indicateur coloré Noir T

Tableau IV.5 : Différents résultats de la dureté de l'eau en présence de l'indicateur coloré Noir T

C (CaCO_3) (mg/l)	Gouttes de test	[Ca^{2+}] (mg/l)	[Mg^{2+}] (mg/l)	Densité	Dureté TH°	Ve_q (ml)
50	30	0.040	0.037	900.9	30	1
30	25	0.033	0.030	900.8	25	0.83
25	22	0.029	0.026	900.7	22	0.73
20	19	0.025	0.023	900.4	19	0.63
15	17	0.022	0.020	900.3	17	0.56
10	15	0.02	0.018	900.2	15	0.5

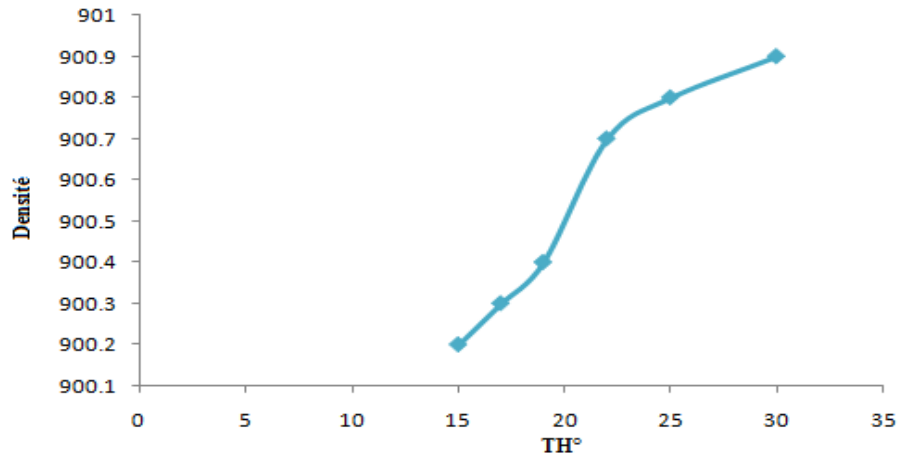


Figure IV.14 -Evolution de la densité d'une eau à différentes concentrations du CaCO_3

Il est important de noter que la présence accrue de minéraux dans l'eau peut influencer sa densité. En effet, les minéraux ajoutent de la masse à l'eau, ce qui peut augmenter sa densité absolue. Par conséquent, il est possible de constater une augmentation de la densité de l'eau avec une augmentation de sa dureté. Cependant, il convient de souligner que la relation entre la dureté de l'eau et sa densité n'est pas linéaire et peut être influencée par d'autres facteurs, tels que la température et la présence d'autres substances dissoutes. Par conséquent, il est important de prendre en compte plusieurs paramètres pour une évaluation précise de la densité de l'eau en relation avec sa dureté.

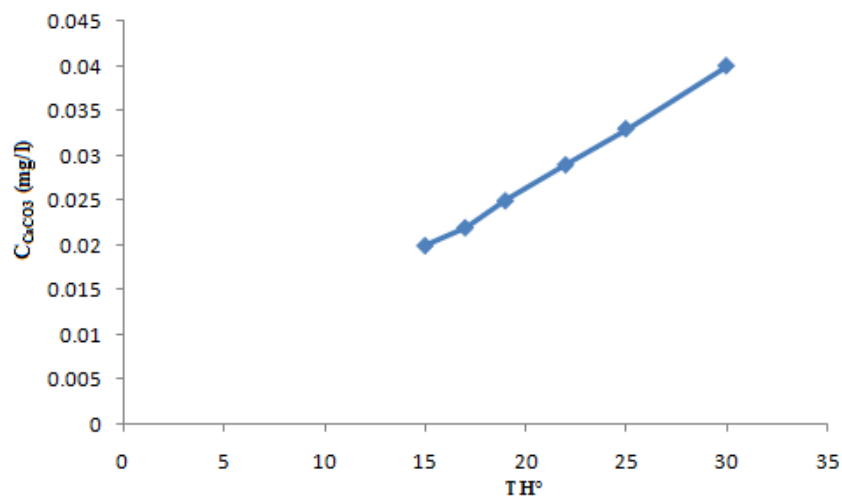


Figure IV.15 -Allure de la concentration Ca^{2+} à différentes titre hydrotimétrique en présence du colorant Noir T

Lorsque la dureté de l'eau augmente, cela est généralement associé à une augmentation de la concentration en ions calcium (Ca^{2+}). La dureté de l'eau est principalement causée par la

présence de sels de calcium et de magnésium dissous dans l'eau. Ces sels se dissolvent dans l'eau et libèrent des ions calcium et magnésium. Cependant, les sels de calcium sont généralement plus abondants que les sels de magnésium, ce qui conduit à une concentration plus élevée en ions calcium dans l'eau dure. La dureté de l'eau peut varier en fonction de la source d'eau et de la région géographique. Dans certaines régions, l'eau peut contenir des concentrations élevées de calcium en raison de la nature géologique de la région ou de la présence de dépôts calcaires dans les sources d'eau. En résumé, lorsque la dureté de l'eau augmente, il y a une tendance à observer une augmentation de la concentration en ions calcium en raison de la présence de sels de calcium dissous dans l'eau.

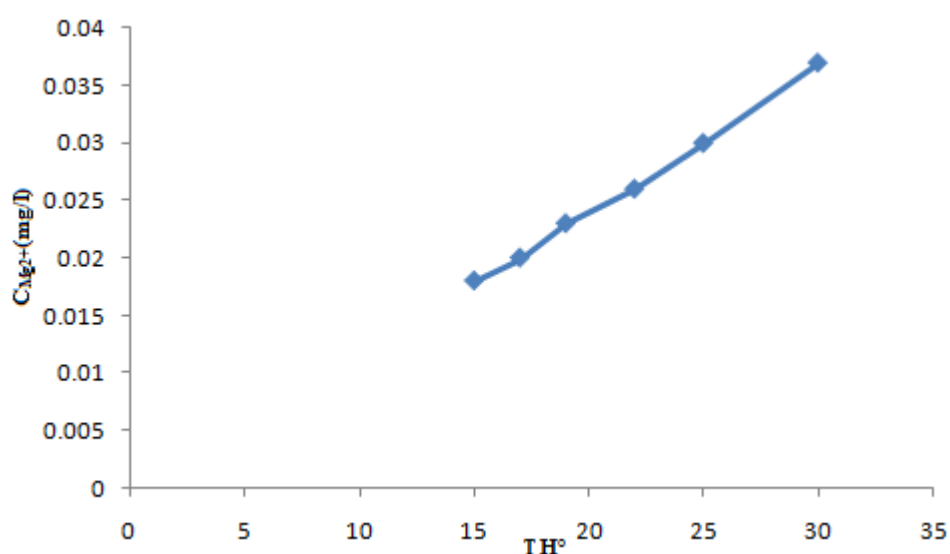


Figure IV.16 - Allure de la concentration Mg²⁺ à différentes duretés hydrotimétriques en présence du colorant Noir T

Lorsque la dureté de l'eau augmente, cela signifie généralement une augmentation de la concentration des ions magnésium (Mg²⁺) dans l'eau. Cette augmentation est souvent due à la présence de minéraux tels que le carbonate de calcium et le carbonate de magnésium dissous dans l'eau. Le magnésium est un cation bivalent (Mg²⁺) qui se trouve naturellement dans l'eau et est souvent associé au calcium. Lorsque la dureté de l'eau augmente, la concentration de ces minéraux augmente également, ce qui conduit à une augmentation de la concentration d'ions Mg²⁺.

➤ L'indicateur coloré Bleu de méthylène

Tableau IV.6 : Différents résultats de la dureté de l'eau en présence de l'indicateur coloré bleu de méthylène

C (CaCO ₃) (mg/l)	Gouttes de Test	[Ca ²⁺] (mg/l)	[Mg ²⁺] (mg/l)	Densité	Dureté TH°	Ve _q (ml)
50	60	0.08	0.074	901.9	60	2
30	40	0.066	0.060	901.8	40	0.66
25	37.5	0.024	0.020	901.7	37.5	0.62
20	10	0.0064	0.0056	901.3	10	0.16
15	8	0.0052	0.0044	901.2	8	0.13
10	6	0.004	0.0034	901	6	0.1

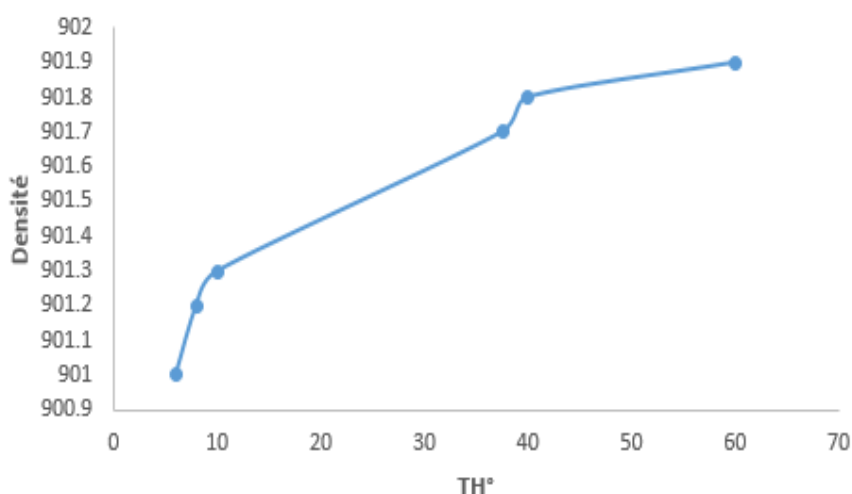


Figure IV.17 -Attitude de la densité d'une eau à différentes titre hydrotimétrique

Il est essentiel de noter que la présence accrue de minéraux dans l'eau peut affecter sa densité. Les minéraux ajoutent de la masse à l'eau, ce qui peut entraîner une augmentation de sa densité absolue. Par conséquent, une augmentation de la dureté de l'eau peut entraîner une augmentation de sa densité. Cependant, il est important de souligner que la relation entre la dureté de l'eau et sa densité n'est pas linéaire et peut être influencée par d'autres facteurs tels que la température et la présence d'autres substances dissoutes. Ainsi, il est nécessaire de prendre en compte plusieurs paramètres pour évaluer précisément la relation entre la densité de l'eau et sa dureté.

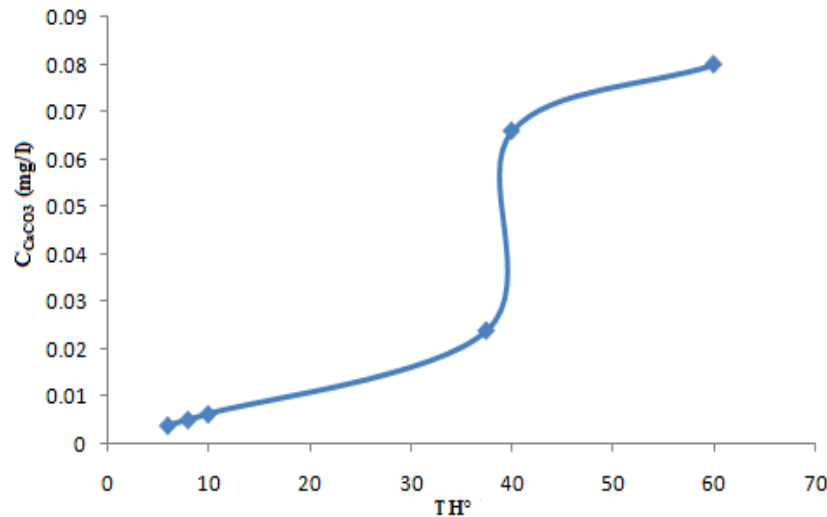


Figure IV.18 - Apparence de la concentration (Ca^{2+}) à divers titre hydrotimétrique en présence du colorant bleu de méthylène

Lorsque la dureté de l'eau augmente, cela est généralement associé à une augmentation de la concentration en ions calcium (Ca^{2+}). La dureté de l'eau est principalement causée par la présence de sels de calcium et de magnésium dissous dans l'eau. Ces sels se dissolvent dans l'eau et libèrent des ions calcium et magnésium. Cependant, les sels de calcium sont généralement plus abondants que les sels de magnésium, ce qui conduit à une concentration plus élevée en ions calcium dans l'eau dure. La dureté de l'eau peut varier en fonction de la source d'eau et de la région géographique. Dans certaines régions, l'eau peut contenir des concentrations élevées de calcium en raison de la nature géologique de la région ou de la présence de dépôts calcaires dans les sources d'eau. En résumé, lorsque la dureté de l'eau augmente, il y a une tendance à observer une augmentation de la concentration en ions calcium en raison de la présence de sels de calcium dissous dans l'eau.

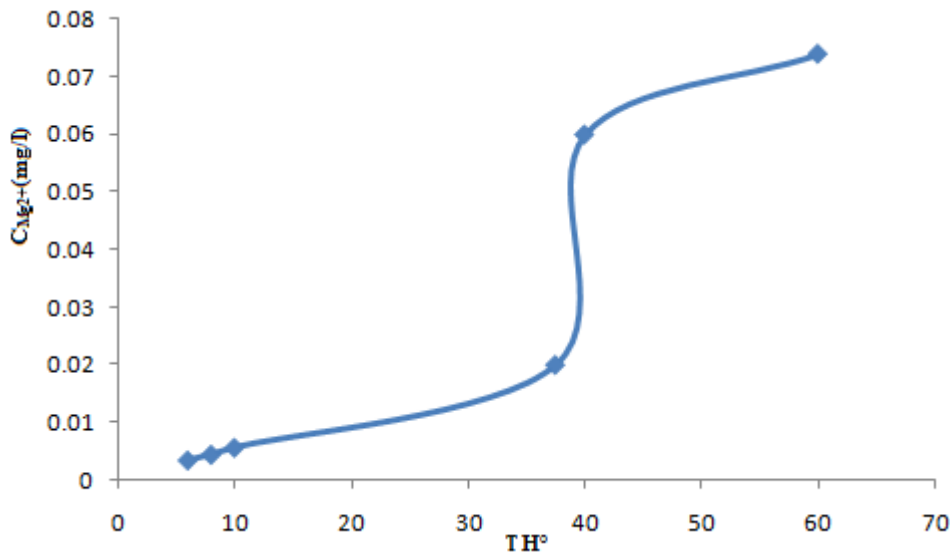


Figure IV.19 - Apparence de la concentration (Mg^{2+}) à divers titre hydrotimétrique en présence du colorant bleu de méthylène

Lorsque la concentration de sels de calcium et de magnésium dissous dans l'eau augmente, on observe généralement une augmentation de la dureté de l'eau. Cette dureté est principalement attribuée à la présence des ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}). La dureté de l'eau peut varier selon la source d'eau et la région géographique. Dans certaines régions, la présence de formations géologiques riches en calcium ou de dépôts calcaires dans les sources d'eau peut entraîner des concentrations élevées de calcium. En résumé, l'augmentation de la dureté de l'eau est généralement associée à une augmentation de la concentration en ions calcium, en raison de la présence de sels de calcium dissous dans l'eau

IV.4.L'alcalinité

L'alcalinité est un facteur important dans une grande variété d'applications, de l'eau potable aux boissons, en passant par l'eau de chaudière/refroidissement et le traitement des eaux usées, ainsi que dans de nombreux types de fabrication et de production chimique.

- Une alcalinité élevée peut atténuer la toxicité des métaux lourds en utilisant les bicarbonates et des carbonates disponibles pour éliminer les métaux des solutions.
- Dans les environnements naturels, une faible alcalinité rend les cours d'eau, les rivières ou les lacs vulnérables aux polluants acides qui peuvent faire chuter le pH de l'eau à des niveaux nocifs pour les amphibiens, les poissons ou le zooplancton.
- L'alcalinité est nécessaire pour amortir ou stabiliser le pH afin de faciliter la phase de digestion anaérobie du traitement des eaux usées.

➤ **Principe**

Le TA (titre alcalimétrique) correspond à la mesure de la teneur d'une eau en hydroxydes et de la moitié de sa teneur en carbonates alcalins et alcalino-terreux.

Le TAC (titre alcalimétrique complet) est la teneur d'une eau en hydroxydes, en carbonates, et en hydrogénocarbonates alcalins et alcalino-terreux.

✚ **Titre TA : titre alcalimétrique simple**

$$TA = [\text{OH}^-] + 1/2 [\text{CO}_3^{2-}] \quad \text{avec } [X] \text{ en } \text{meq.l}^{-1} \quad (\text{IV.5})$$

✚ **Titre TAC : titre alcalimétrique complet**

$$TAC = [\text{OH}^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] \quad \text{avec } [X] \text{ en } \text{meq.l}^{-1} \quad (\text{IV.6})$$

Domaines de prédominance : [40]

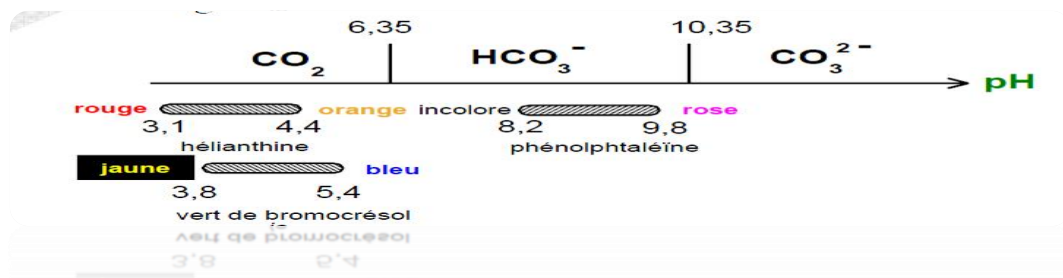


Figure. IV.20-.Domaine du pH de prédominance TAC

➤ **Matériels**

a. **Paillasse**

- Acide chlorhydrique 0.02N ; Solution de méthylorange à 0,5 % (le méthylorange est préparé dans l'eau) ; Eau permutée

Verrerie ballon ou de 500 mL +Fiole jaugée de 1000 ml +bêcher de 500 mL +burette graduée.

b) **Mode opératoire**

✚ **Détermination du TA :**

- Prélever 100 mL d'eau à analyser dans un bêcher de 500 mL,
- Ajouter 1 à 2 gouttes phénolphthaléine
- Une teinte rose doit se développer
- Dans le cas contraire, le TA est nul, ce qui se produit en général pour les eaux naturelles dont le pH est inférieur à 8,3

- Titrer ensuite doucement l'acide à l'aide d'une burette, en agitant régulièrement et ceci jusqu'à la décoloration complète de la solution.

Soit V : le nombre de millilitres d'acide utilisés pour obtenir le virage.

✚ Détermination du TAC :

- Sur le même échantillon ,02 goutte de solution méthylorange et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'au virage du jaune orangé au rose orangé,
- Soit V' : le nombre de millilitres d'acide 0,02 N verser depuis le début du dosage,
- Répéter 3 fois le titrage et prendre la moyenne des 3 valeurs pour le TA et pour TAC.

$$\text{TAC} = N_1 * V_1 / V_2 * 100 \quad (\text{IV.7})$$

$$\text{TA} = 0 \text{ le pH est inférieur à } 8,3 \quad (\text{IV.8})$$

Tableau IV.7-Différentes résultats de la dureté de l'eau en présence de l'indicateur coloré la phénolphtaléine

C _{CaCO3} (mg/l)	TAC	Hydroxyde OH ⁻	Carbonate CO ₃ ²⁻	Bicarbonate HCO ₃ ⁻
50	5	0	0	TAC
30	3	0	0	TAC
25	1.8	0	0	TAC
20	1	0	0	TAC
15	0.8	0	0	TAC
10	0.6	0	0	TAC

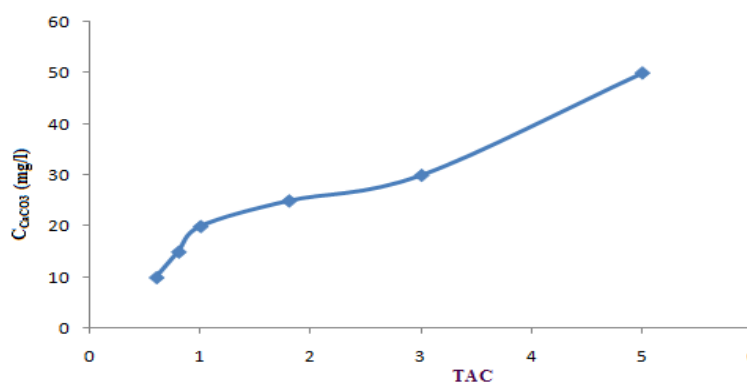


Figure. IV.21 -Aspect de la concentration CaCO₃ en fonction du titre alcalimétrique complet(TAC)

Lorsque la concentration de CaCO_3 dans l'eau augmente, le taux de TAC (Taux d'Alcalinité Complet) augmente également. Cela se produit parce que le CaCO_3 est le principal composant de la formation de calcaire, qui a tendance à se déposer sur les surfaces et les canalisations.

Lorsque l'eau contenant une concentration élevée de CaCO_3 est chauffée, cela entraîne la formation de calcaire. Des cristaux de calcaire se forment sur les surfaces, les parois internes des canalisations, les appareils de chauffage, etc. Cette formation de calcaire contribue à augmenter le taux de TAC dans l'eau.

IV.5.References

[38] Bunker, Philip R.; Jensen, Per (1998). Molecular Symmetry and Spectroscopy. Ottawa: NRC Research Press.

[39]https://www.merckmillipore.com/intl/en/product/eriochrome-black-t-c.i.-14645,mda_chem-103170?referrerurl=https%3a%2f%2fwww.google.com%2f

[40]Rodier j., legube b., merlet n. Et brunet r. (2009). L'analyse d'eau. 9^{ème} ed, dunod, paris. Isbn978-2-10-054179-9

Conclusion générale

Conclusion générale

La réalisation d'un test pour mesurer le taux de calcaire dans l'eau potable revêt une grande importance pour garantir la qualité de cette ressource essentielle à notre vie quotidienne. Grâce à ces tests, nous pouvons quantifier la concentration de calcaire dans l'eau et prendre des mesures appropriées pour minimiser ses effets négatifs.

Nous avons examiné différentes méthodes de test disponibles, qu'elles soient réalisées en laboratoire ou à l'aide de kits de test commerciaux. Chaque méthode présente ses propres avantages et limites, mais elles sont toutes basées sur des principes scientifiques solides pour mesurer la présence de calcium ou de carbonate de calcium, les composants principaux du calcaire.

Nous avons également souligné l'importance de connaître le taux de calcaire dans l'eau potable. Une concentration élevée de calcaire peut avoir un impact sur la saveur des aliments et des boissons préparés avec cette eau, ainsi que sur l'efficacité des appareils ménagers tels que les bouilloires, les machines à café et les lave-linge. De plus, la formation de dépôts de calcaire dans les canalisations peut entraîner des problèmes de débit d'eau et des coûts de maintenance plus élevés.

En comprenant le taux de calcaire dans l'eau potable, nous sommes en mesure de prendre des mesures préventives appropriées pour minimiser les effets négatifs. Cela peut inclure l'installation de systèmes de filtration appropriés ou l'utilisation de produits chimiques pour réduire la concentration de calcaire. En prenant soin de la qualité de notre eau potable, nous améliorons notre santé, notre confort et contribuons à la durabilité environnementale. Il est important de noter que les recommandations et les réglementations concernant la concentration de calcaire dans l'eau potable peuvent varier selon les pays et les régions. Il est donc essentiel de se référer aux normes en vigueur et de suivre les recommandations des autorités compétentes pour assurer la conformité de l'eau potable aux normes de qualité. En conclusion, la réalisation d'un test pour mesurer le taux de calcaire dans l'eau potable nous permet d'évaluer la qualité de cette ressource essentielle à notre vie quotidienne. En comprenant et en prenant en compte le taux de calcaire, nous pouvons mettre en place des mesures adéquates pour prévenir les problèmes liés à une concentration excessive de calcaire. La préservation de la qualité de l'eau potable contribue à notre bien-être et à la préservation de l'environnement, assurant ainsi un avenir sain et durable pour tous.

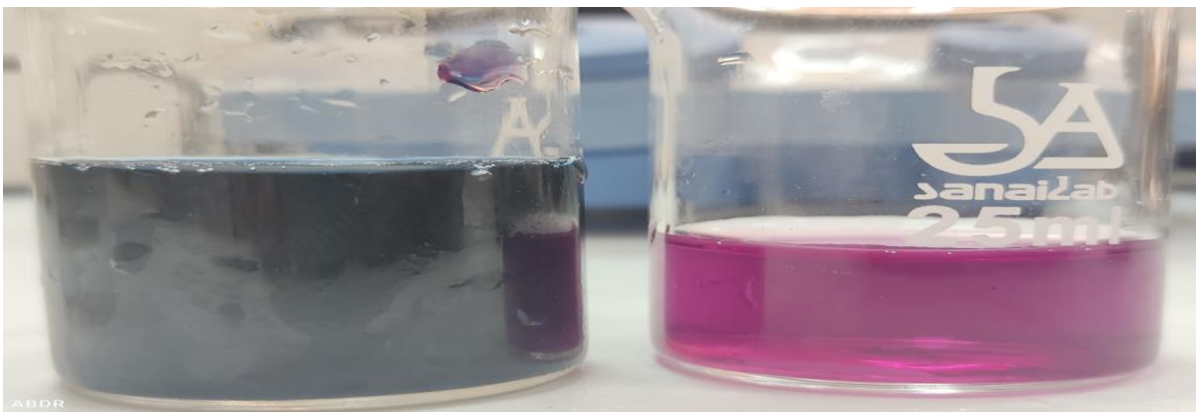
Listes des annexes

Listes des annexes

[Annexe1] Une image pour changer la couleur des échantillons lors de l'ajout EDTA



[Annexe2] Une image pour changer la couleur des échantillons lors de l'ajout EDTA



[Annexe3] Résultat du papier de détection de calcaire



[Annexe4] Séchage du papier détecteur de calcaire



Résumé

Résumé

Dans le cadre de cette étude, notre objectif est de développer un test innovant pour mesurer le taux de calcaire dans l'eau potable, avec une perspective commerciale. Nous cherchons à créer un produit commercialisable qui permettra aux consommateurs, aux entreprises et aux organismes publics de déterminer facilement et précisément la concentration de calcaire dans leur eau potable. En comprenant ce paramètre essentiel, nos clients pourront prendre des mesures proactives pour réduire les effets néfastes du calcaire, tels que la détérioration des appareils ménagers et les problèmes de goût des aliments et des boissons. Notre solution de test offrira une fiabilité et une simplicité d'utilisation exceptionnelles, ouvrant ainsi de nouvelles opportunités sur le marché des solutions de gestion de la qualité de l'eau potable.

Mots clés :Dureté,Noir T,Bleu de méthylène,Test °TH.

Abstract

As part of this study, our goal is to devise a novel assessment method for quantifying the presence of limestone in potable water, with a focus on commercial viability. We aim to develop a marketable product that enables consumers, businesses, and public organizations to conveniently and accurately determine the concentration of lime in their drinking water. By comprehending this crucial parameter, our clientele can proactively mitigate the detrimental consequences of limescale, including the degradation of household appliances and issues related to the taste of food and beverages. Our testing solution will offer exceptional dependability and user-friendliness, thereby unlocking fresh prospects in the market for drinking water quality management solutions.

Keywords:Dureté,Noir T,Bleu de méthylène,Test °TH.

خلاصة

في إطار هذه الدراسة ، هدفنا هو تطوير اختبار مبتكر لقياس مستوى الكلس في مياه الشرب ، من منظور تجاري. نسعى لإنشاء منتج قابل للتسويق يسمح للمستهلكين والشركات والوكالات العامة بتحديد تركيز الجير في مياه الشرب الخاصة بهم بسهولة ودقة. من خلال فهم هذه المعلمة الأساسية ، سيتمكن عملاؤنا من اتخاذ تدابير استباقية للحد من الآثار الضارة للرواسب الكلسية ، مثل تدهور الأجهزة المنزلية ومشاكل تذوق الطعام والشراب. سيوفر حل الاختبار الخاص بنا موثوقية استثنائية وسهولة في الاستخدام ، مما يفتح فرصًا جديدة في سوق حلول إدارة جودة مياه الشرب .

الكلمات المفتاحية : Dureté,Noir T,Bleu de méthylène,Test °TH.