

~~17/624.920~~
17/540.826

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie des Procédés

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

2^{ème} Année Master

Etude physico-chimique et mise en évidence de la présence de métaux lourds dans les eaux de robinets et sources

Filière : Génie des Procédés

Option : Matériaux et Génie des Procédés : Matériaux et Traitements de Surfaces

Présenté par :

NABTI Zineb

Sous la direction de :

Dr NACEF Mouna


Juin 2015



15/3/95

وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ الْحَيِّ حَيًّا

وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ



Dédicaces

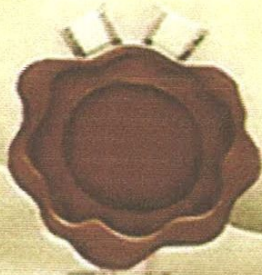
Je dédie ce modeste travail en signe de respect reconnaissance et de remerciement

A mes chers parents

A mon mari et sa famille

A mon petit Med. El-bara

A mes chers sœurs et frères



Remerciements

Mes remerciements vont aussi au Pr M.E.H. Benhamza, directeur du laboratoire d'analyses industrielles et génie des matériaux (LAIGM) de l'université 08 Mai 1945 Guelma et également aux Pr. A.M. Affoune chef d'équipe " Electrochimie et Corrosion " et Pr. A.R Nemamcha chef d'équipe "Surface, Interfaces et Nanostructures" qui m'ont accepté au sein de leur laboratoire.

Mes vifs remerciements au docteur A. Maoui, maître de conférences à l'université 08 Mai 1945 de Guelma pour leurs précieuses aides et orientations.

Mes sincères remerciements aux membres du jury d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers mes amis et collègues qui m'ont apporté leur support moral et intellectuel tout au long de ma démarche. Un grand merci à Wahida, Sara, Samira et Nabila.

Résumé

La pollution des eaux constitue aujourd'hui une véritable menace pour l'environnement et bien sûr pour la santé de l'homme.

Dans ce contexte, des échantillons d'eaux de robinets prélevés directement chez le consommateur au niveau de la ville de Guelma et ainsi que quelques sources de Guelma ont été analysés pour la détermination des paramètres physico-chimiques, certains minéraux ainsi que les métaux lourds. Les résultats ont été comparés à l'ensemble des paramètres faisant l'objet de normes (Algérienne et OMS).

Les résultats obtenus ont montré que les différents paramètres chimiques sont bons mais que les eaux municipales sont dures et turbides. La cité Emir Abdelkader affiche cependant, quelques divergences par rapport aux autres eaux.

Le résultat principal de cette étude est la révélation de la présence des métaux lourds dans les eaux de robinets mais aussi dans les eaux de sources qui ont de bons échos au sein de la population.

Les recommandations que nous avons fait à la fin de ce travail, si elles sont suivies scrupuleusement, permettront d'améliorer considérablement la qualité des eaux de consommation et permettront de protéger la santé publique.

Table des matières

Introduction générale.....	1
CHAPITRE I – GENERALITES SUR L’EAU ET SA POLLUTION	
× I.1 Introduction	2
× I.2 Structure et propriétés de l'eau.....	2
× I.2.1 Structure	2
× I.2.2 Propriétés.....	2
× I.3 Cycle naturel de l'eau.....	7
I.4 Ressource hydrique.....	8
I.4.1 Eaux souterraines.....	9
I.4.2 Eaux superficielles :.....	10
I.4.3 Aperçu sur les ressources en eau au niveau national.....	10
I.5 Utilisation des eaux.....	12
I.5.1 Types d'utilisation des eaux.....	12
× I.6 Pollution de l'eau	13
× I.6.1 Sources de La pollution.....	13
I.6.2 Pollution des eaux souterraines.....	15
I.6.3 Pollution des eaux de surface	15
I.7 Conclusion.....	15
CHAPITRE II : TRAITEMENT DE L’EAU ET SA QUALITE	
II.1 Introduction	16
II.2 Gestion de l'eau potable.....	16
II.2.1 Production de l'eau potable	16
II.2.2 Transport, stockage et distribution	19
II.3 Qualité de l'eau potable.....	20
II.3.1 Paramètres organoleptiques :	21
× II.3.2 Paramètres physico-chimiques en relation avec la nature de l'eau.....	22
II.3.3 Paramètres concernant les substances indésirables.....	29
II.3.4 Paramètres toxiques et indésirables	32
II.3.5 Caractères microbiologiques	32
II.4 Région d'étude.....	32
II.4.1 Situation géographique.....	33

II.4.2	Climat	33
II.4.3	Géomorphologie et réseau hydrographique	34
II.4.4	Cadre géologique	34
II.5	Conclusion	35
CHAPITRE III – MATERIEL ET METHODES		
III.1	Introduction	36
III.2	Echantillonnage.....	36
III.2.1	Les eaux analysées	36
III.2.2	Mode de prélèvement	38
III.3	Méthodes d'analyse	38
III.3.1	Paramètres physiques.....	38
III.3.2	Minéralisation et les éléments minéraux majeurs de l'eau	41
III.3.3	Cations alcalinoterreux	47
III.4	Substances indésirables	51
III.4.1	Substances azotées	51
III.4.2	Phosphates.....	54
✕ III.5	Métaux lourds	57
III.6	Conclusion	62
CHAPITRE IV – RESULTATS ET DISCUSSIONS		
IV.1	Introduction	63
IV.2	Résultats d'analyses des eaux de robinet.....	63
IV.2.1.	Paramètres physiques des eaux de robinet.....	63
IV.2.2.	Paramètres chimiques des eaux de robinet	67
✕ IV.2.3.	Métaux lourds des eaux de robinet.....	68
IV.3	Résultats d'analyses des eaux de sources.....	72
✕ IV.3.1.	Paramètres physiques des eaux de sources	72
✕ IV.3.2.	Paramètres chimiques des eaux des sources	74
IV.3.1.	Dosage des métaux lourds des eaux de sources	75
IV.4	Cas particulier des eaux de Aïn Safra	77
IV.5	Comparaison entre les valeurs affichés et mesurés de l'eau minérale "IFRI"	79
IV.6	Discussion.....	80
IV.7	Conclusion	81
	Conclusion générale.....	82
	Bibliographie	

Liste des figures

CHAPITRE I

FIG.I.1. Structure de la molécule d'eau	2
FIG.I.2. Différents états de l'eau.....	3
FIG.I.3. Diagramme des phases de l'eau	4
FIG.I.4. Cycle de l'eau	7
Fig.I.5. Répartition eau salée/eau douce sur terre	9
FIG.I.6. Répartition de l'eau douce.....	9

CHAPITRE II

FIG.II.1. Forage dans une nappe souterraine.....	16
FIG.II.3. Captage d'une source	16
FIG.II.4. Pompage en rivière protégé par une grille	17
FIG.II.5. Schéma de principe du traitement coagulation- floculation- décantation	17
FIG.II.6. Filtre à sable en situation de filtration.....	18
FIG.II.7. Filtre à sable en situation de lavage a contre-courant.....	18
FIG.II.8. La station de pompage refoule l'eau traité vers les réservoirs relais.....	19
FIG.II.9. Bâche au sol. la pression à l'aval est maintenue par le pompage.....	20
FIG.II.10 . le niveau d'eau du château d'eau est maintenu par le pompage. l'écoulement est gravitaire.	20
FIG.II.11. Répartition du CO ₂ dans l'eau.....	29
FIG.II.12. Carte de situation géographique de la zone d'étude (source :DPAT 2008)	33
FIG.II.13. Le réseau hydrographique (source : Aouissi).....	34
FIG.II.14. Géomorphologie de la région de Guelma (Benmarce 2007).....	35

CHAPITRE III

Fig III 2. Situation géographique des eaux de sources concernées par ce travail.....	38
Fig III.3. pH-mètre Inolab Level 3 avec terminal Level 3	39
Fig III.4. Mesure de la température par le pH-mètre	39
Fig III. 5. Mesure de la conductivité	40
Fig III. 6. Mesure des résidu sec	40

Fig III.7. Mesure de la salinité.....	40
Fig III.8. Turb®355 Ir- WTW	41
Fig Iii.9. Photolab Spektral- WTW.....	46
Fig III.10. La courbe d'étalonnage des sulfates	46
Fig III.11. Photomètre à flamme PFP.....	49
Fig III.12. Courbe d'étalonnage de l'élément sodium	50
Fig III.13. Courbe d'étalonnage de l'élément potassium	51
Fig III.14. Courbe d'étalonnage du fer.....	56
Fig III.15. Centrifugeuse sigma compact centrifuge 2-5.....	58
Fig III.16. spectrophotomètre d'absorption atomique AANALYST 400 de Perkin Elmer	58
Fig III.17. La Séquence d'opérations de l'analyse	59
Fig III.18. Courbes d'étalonnage des différents éléments, (A): Cu, (B): Zn, (C): Cr, (D): Fe , (E): N , (F): Cd, (G): Sn, (H): Pd.....	61

CHAPITRE IV

FIG IV.1. Classification des eaux des robinets en fonction de leur dureté	64
FIG IV.3. Schéma représentant la repartition des différentes duretés de l'eau	64
FIG IV.4. Comparaison des valeurs de la turbidité des eaux des robinets des différentes cites de la ville de Guelma avec la norme Algérienne	65
FIG IV.5. Comparaison des valeurs mesurées des Nitrates des eaux des robinets des différentes cites de la ville de Guelma avec la norme Algérienne.....	68
FIG IV.6. Comparaison entre les valeurs mesurées de Cr: (à gauche) et de Cd: (à droite) des eaux de robinets de différentes cites de Guelma avec la norme ALgérienne	70
FIG IV.7. Comparaison des valeurs de la turbidité des eaux des sources avec la norme Algérienne	72
FIG IV.8. Comparaison entre les valeurs mesurées du fer des eaux de sources avec la norme Algérienne	76
FIG IV.9. Comparaison entre les valeurs mesurées du fer des eaux de source avec la norme Algérienne	76

Liste des Tableaux

CHAPITRE I

TABLEAU I.1 –Variations de la tension superficielle de l'eau en fonction de la température	6
TABLEAU I.2 –Differentes caractéristiques de l'eau	7
TABLEAU I.3 –Pourcentages de l'eau dans les êtres vivants	7
TABLEAU I.4 –Principales différence entre eaux de surface et eaux souterraines	10
TABLEAU I.5 – Bassins versants par bassins hydrographiques en Algérie.....	11
TABLEAU I.6 – Besoins en eau des diverses cultures pendant la période de croissance ...	12

CHAPITRE II

TABLEAU II. 1 – Liste des principaux groupes d'odeurs types de l'eau selon l'AFNOR.....	21
TABLEAU II. 2 – Liste des saveurs et des goûts de l'eau selon l'AFNOR	22
TABLEAU II. 3 – Conductivité des eaux de nappes souterraines.....	23
TABLEAU II. 4 – Classification des eaux d'après leur pH	23
Tableau II. 5 – Détermination de la minéralisation a partir de la conductivité	25
TABLEAU II. 6 – Classification des eaux en fonction de leur dureté	25

CHAPITRE III

TABLEAU III. 1 –Dates de collecte de différentes eaux de robinet choisis au niveau de la ville de Guelma.....	37
TABLEAU III. 2 –Les eaux de sources concernées par ce travail	37
TABLEAU III. 3 – Solutions étalons pour SO_4^{2-}	46
TABLEAU III. 4 – Préparation des solutions étalons pour le dosage du sodium	50
TABLEAU III. 5 – Préparation des solutions étalons pour le dosage du potassium	50
TABLEAU III. 6 – Préparation des solutions étalons pour NO_3^-	52
TABLEAU III. 7 – Préparation des solutions étalons pour le dosage du fer.....	56
TABLEAU III. 8 – Liste des solutions standard pour chaque élément	59
TABLEAU III. 9– Les conditions opératoires du spectrophotometre pour chaque élément	60

CHAPITRE IV

TABLEAU IV. 1–Valeurs mesurées des différents paramètres en relation avec la structure naturelle des eaux de robinet de la ville de Guelma	66
TABLEAU IV. 2–Valeurs mesurées des différents cations et anions dans l’eau de robinet de la ville de Guelma	67
TABLEAU IV. 3–Valeurs mesurées des différents métaux lourds dans l’eau de robinet de la ville de Guelma.....	69
TABLEAU IV.4–Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l’environnement et leurs effets sur la santé	71
TABLEAU IV. 5–Les valeurs mesurées des différents paramètres en relation avec la structure naturelle des eaux des sources de la ville de Guelma	73
TABLEAU IV. 6–Les valeurs mesurées des différents paramètres chimiques des eaux des sources de la ville de Guelma.....	74
TABLEAU IV. 7–Les valeurs mesurées des différents métaux lourds dans l’eau de sources de la ville de Guelma	75
TABLEAU IV. 8–Comparaison des valeurs mesurées des différents paramètres en relation avec la structure naturelle de deux eaux de Ain Safra(1) et (2) avant et après la filtration	77
TABLEAU IV. 9 Comparaison des valeurs mesurées des différents paramètres chimiques des eaux des sources Ain Safra (1) et (2) avant et après la filtration.....	78
TABLEAU IV. 10–Comparaison des valeurs mesurées des métaux lourds des eaux des sources Ain safra (1) et (2) avant et après la filtration.....	78
TABLEAU IV. 11–Comparaison entre les valeurs affichées et mesurées de l’eau minérale "Ifri ".....	79
TABLEAU IV. 12 –Classification des eaux de robinet de la ville de Guelma suivant les résultats obtenus.....	80
TABLEAU IV. 13 –Classification des eaux de sources de la ville de Guelma suivant les résultats obtenus.....	81

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

L'importance de l'eau pour la vie et comme composant de l'écosystème mondial n'est plus à démontrer. Cette ressource qui répond aux besoins fondamentaux de l'homme est un élément-clé du développement, en particulier pour générer et entretenir la prospérité par le biais de l'agriculture, de la pêche, de la production d'énergie, de l'industrie, des transports et du tourisme. En outre, l'eau est vitale pour tous les écosystèmes du monde.

L'eau peut aussi être source de maladies du fait de sa contamination par des déchets ménagers, industriels, agricoles, par des excréta et divers déchets organiques.

La problématique de l'eau est un souci de quantité et de qualité. Des analyses doivent être effectuées afin de déterminer exactement les qualités de l'eau. Parmi lesquelles les paramètres qui sont en relation avec la structure naturelle des eaux. De plus, les composées et éléments sont indésirables dans l'eau de consommation et leurs teneurs doivent être inférieures aux seuils rigoureux fixés par la législation de chaque pays tels que : les nitrates, les nitrites et les métaux lourds en l'occurrence : le Cuivre (Cu), le Zinc (Zn), le Nickel (Ni), etc.

Dans ce contexte, cette étude s'est intéressée aux eaux de consommation issues des robinets de plusieurs cités de la ville de Guelma, ainsi qu'aux eaux de sources largement consommées par la population.

Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres.

Le premier chapitre introduit l'eau en tant qu'élément essentiel à la vie.

Le deuxième chapitre s'intéresse aux différents traitements subis par l'eau avant d'arriver chez le consommateur ainsi que les paramètres affectant sa qualité.

Le troisième chapitre détaille le matériel utilisé et les protocoles expérimentaux suivis.

Les résultats obtenus avec leurs discussions sont regroupés dans le quatrième chapitre.

La conclusion générale mettra en lumière les principaux résultats obtenus.

I.1 Introduction

L'eau est un composé chimique ubiquitaire sur la Terre, essentiel pour tous les organismes vivants connus. C'est le milieu de vie de la plupart des êtres vivants.

A l'heure actuelle, 1,1 milliard de personnes (17 %) de la population n'a pas accès à un approvisionnement sûr en eau, tandis que 2,4 milliard de personnes (40 %) manque d'installations sanitaires adéquates. La majorité des personnes concernées habitent en Afrique et en Asie (Abda 2009).

I.2 Structure et propriétés de l'eau

I.2.1 Structure

L'atome d'oxygène possède 6 électrons périphériques. Sa valence est égale à 2. L'hydrogène possède un électron périphérique et établit une liaison de covalence, *voici la structure de la molécule d'eau*. Elle est à la fois simple et complexe. Une molécule d'eau est simple en soi : elle est composée de trois atomes, deux d'hydrogène et un d'oxygène. Son symbole chimique est H₂O (Mouchet 2011).



Fig.I.1. Structure de la molécule d'eau

Du fait de la présence de deux doublets non liants sur l'atome d'oxygène, l'eau a une structure tétraédrique. La géométrie de la **molécule d'eau est donc coudée**. Les études spectroscopiques montrent que l'angle H- \hat{O} -H est de 104,5° et que la distance interatomique d_{O-H} = 95,84 pm (picomètre) soit 9,58.10⁻¹¹ m (Fig I.1.).

I.2.2 Propriétés

La liaison hydrogène est à l'origine des propriétés chimiques et physiques particulières de l'eau.

I.2.2.a Différents états de l'eau

L'eau peut se présenter sous trois états physiques (Kouadri 2013) :

- **L'état liquide** (dans les rivières, l'eau de pluie, l'eau du robinet, etc.) ;
- **L'état solide** (dans la glace de la banquise, dans la neige, etc.) ;
- **L'état gazeux** (dans la vapeur d'eau de l'atmosphère).

Le facteur principal d'un changement d'état est la température. En l'élevant ou en l'abaissant, on fait passer un corps d'un état physique à un autre. Nous verrons dans le diagramme de phase que le changement d'état dépend également de la pression.

■ Les changements d'état de l'eau

Il existe six changements d'états associés (Mouchet 2011):

- **La condensation** : c'est le passage de l'état gazeux à liquide.
- **la condensation solide** : qui est le passage de l'état de gaz à solide, sans passer par la phase liquide.
- **L'évaporation** : c'est le passage de l'état liquide à l'état gazeux.
- **La fusion** : c'est le passage de l'état solide à liquide.
- **La sublimation** : c'est le passage directement de l'état solide à l'état gazeux. Cela se produit dans certaines conditions de pression.
- **La solidification** : c'est le passage de l'état liquide à solide.

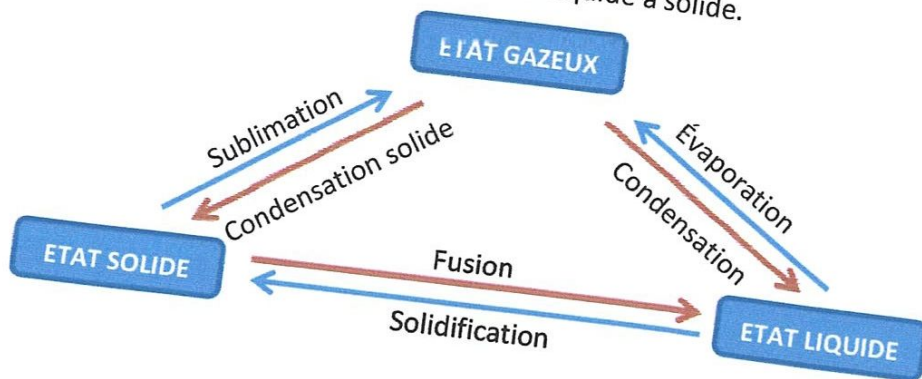


Fig.1.2. Différents états de l'eau

■ Structure de l'eau dans ses différents états (Mouchet 2011)

- L'état liquide :

Lorsque l'eau passe de l'état solide à l'état liquide, il subsisterait des amas ou des "icebergs" de tétraèdres élémentaires organisés suivant une structure hexagonale ou autre, entre lesquels sont intercalées des molécules d'eau libres, dont la proportion augmente avec la température.

- L'état solide :

Il existe trois formes amorphes de glace ce sont les glaces BD (basse densité) ; HD (haute densité) et X (très haute densité), ces deux dernières ne pouvant être obtenues que sous haute pression.

– L'état vapeur :

Le point d'ébullition correspond à une rupture totale des liaisons ; les molécules d'eau isolées sont alors animées d'une grande agitation thermique, passent à l'état gazeux sous forme de bulles au sein du liquide et s'échappent par la surface libre de l'eau sous forme de vapeur, dans laquelle toutes les molécules sont séparées les unes des autres.

■ Diagramme des phases

Le diagramme des phases illustre les domaines de température et de pression où l'eau se trouve à l'état gazeux, liquide et solide.

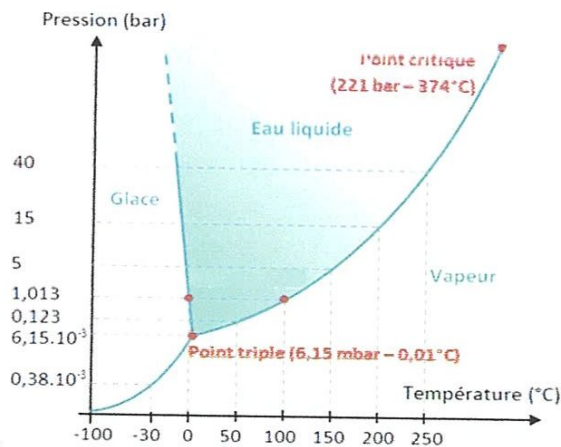


Fig.I.3. Diagramme des phases de l'eau

Il montre que le point triple correspond à une température de 0,01°C et une pression de 6,15 hectopascals soit 6,15 · 10⁻³ bar (1 bar = 105 pascals). En dessous du point triple, l'eau ne peut pas exister sous forme liquide. La courbe de changement de phase liquide-vapeur (appelée courbe de vaporisation) est limitée supérieurement en un point appelé point critique. Au-delà de ce point, l'eau devient un fluide supercritique qui possède la propriété de dissoudre des substances insolubles dans l'eau en dessous du point critique.

La pente de la courbe de fusion (changement de phase liquide-solide) est négative dans un large domaine de pression pour une température proche de celle du point triple. Cela explique qu'une augmentation de la pression favorise la fusion de la glace.

I.2.2.b Propriétés chimiques

L'eau est une substance qui a le pouvoir de dissoudre d'autres éléments. De ce fait, elle peut attaquer les parois d'un récipient qui la contient, sculpter des paysages. Elle

peut aussi dissoudre des gaz présents dans l'air comme le gaz carbonique ou l'oxygène (oxygène dissous).

L'eau contenue dans le corps humain sert de support à la multitude de réactions et d'échanges qui sont nécessaires à la vie.

La première opération chimique réalisable avec l'eau est sa dissociation en protons H^+ et en ions hydroxydes OH^- . Cette réaction, dite d'autoprotolyse de l'eau. L'équilibre de dissociation de l'eau s'écrit (BOEGLIN 2001):



On associe à l'équation d'autoprotolyse de l'eau la constante d'équilibre appelée produit ionique de l'eau, noté K_e , tel que

$$[H_{Aqueux}^+] \cdot [OH^-] = K_e \quad (1.2)$$

$$pK_e = -\log(K_e) \quad (1.3)$$

Le produit ionique de l'eau K_e est fonction de la température. A $25^\circ C$, $K_e = 10^{-14}$ et le $pK_e = 14$. L'influence de la pression sur la valeur du pK_e est en revanche beaucoup plus faible : par exemple, pour une pression de 200 bar, $K_{200\ bar} = 1,2K_{1\ bar}$.

Outre ses qualités chimiques propres, l'eau est un excellent véhicule, notamment pour les agents agressifs comme les acides ou le gaz carbonique. Le gaz carbonique dans l'eau se transforme en un acide faible qui dissout, entre autres, le calcaire. Cependant, une élévation de température ou une aération de l'eau précipite le calcaire sous forme de tartre. De la même façon, l'eau des océans régule la teneur en gaz carbonique de l'atmosphère.

1.2.2.c Propriétés physiques

L'eau a de nombreuses propriétés physiques assez particulières (BOEGLIN 2001) :

– Le principe d'Archimède

Le principe d'Archimède s'énonce ainsi : "Tout corps plongé dans un liquide subit une poussée vers le haut équivalente au poids du liquide qu'il déplace".

– Le principe de Pascal

L'eau ne peut pas se comprimer, ni augmenter de volume, c'est le principe de Pascal. Si on lui fait subir une pression, elle va retransmettre cette pression subie. La pression d'une masse liquide est la même sur tous ses points d'application.

– La tension superficielle

La tension superficielle est une mesure de la force du film de la surface de l'eau. Les molécules d'eau sont liées entre elles, créant un film très fort dont la tension est supérieure à celle de tout autre liquide, sauf le mercure, ce qui permet à l'eau de s'insérer partout, dans les crevasses, les rochers ,etc.

Comme indiquée dans le tableau I.1, la tension superficielle de l'eau diminue en fonction de la température (Kouadri 2013).

Tableau I.1– Variations de la tension superficielle de l'eau en fonction de la température

T (°C)	0	10	20	30	50	80	100
Tension superficielle ($10^{-3} \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$)	75,6	74,23	72,75	71,2	67,94	62,67	58,91

– La conductivité électrique

L'eau est légèrement conductrice. Cette conductivité très faible, mais jamais nulle est expliquée par une légère dissolution de la molécule d'eau selon l'équation chimique :



– Autres propriétés physiques

- Une des propriétés physiques les plus particulières de l'eau est que, lorsqu'elle gèle dans les lacs, les rivières, etc., elle ne commence pas à geler par le fond mais par la surface. C'est dû au fait que la glace est plus légère que l'eau. L'eau augmente de volume en se solidifiant, sa densité va donc être moindre.
- Le coefficient de compressibilité isotherme est petit mais suffisant pour abaisser le niveau des mers de 40 mètres. En conséquence, lorsqu'il y a de grandes décompressions atmosphériques, liées à des tempêtes, le niveau des mers remonte.
- L'eau est incolore, inodore, sans saveur quand elle est pure.
- Elle peut dissoudre de nombreuses matières pour donner des solutions. Elle repousse presque toutes les substances organiques (huile, pétrole, etc.) pour former des émulsions.
- En refroidissant, elle augmente de volume

Tableau I.2 – Différentes caractéristiques de l'eau (Kouadri 2013)

Densité	999,97 kg/m ³
Point d'ébullition	100 °C
Masse molaire	18,01528 g/mol
Formule	H ₂ O
Point de fusion	0 °C
Température du point triple	0,01 °C
Nom IUPAC	Water, Oxidane

I.2.2.d 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. 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 (Kouadri 2013) .

Tableau I.3 – Pourcentages de l'eau dans les êtres vivants

HOMME		ALIMENTS	
Nouveau-né	66 à 74 %	Laitue	92 %
Adulte	58 à 67 %	Pomme de terre	78 %

I.3 Cycle naturel de l'eau

La Terre est recouverte à plus de 70 % d'eau. La totalité de l'eau contenue sur terre forme ce que l'on appelle l'hydrosphère, dont le volume total est estimé à 1400 millions de km³. Cela paraît considérable. Cependant, il convient de relativiser : l'eau douce ne représente que 35 millions de km³.

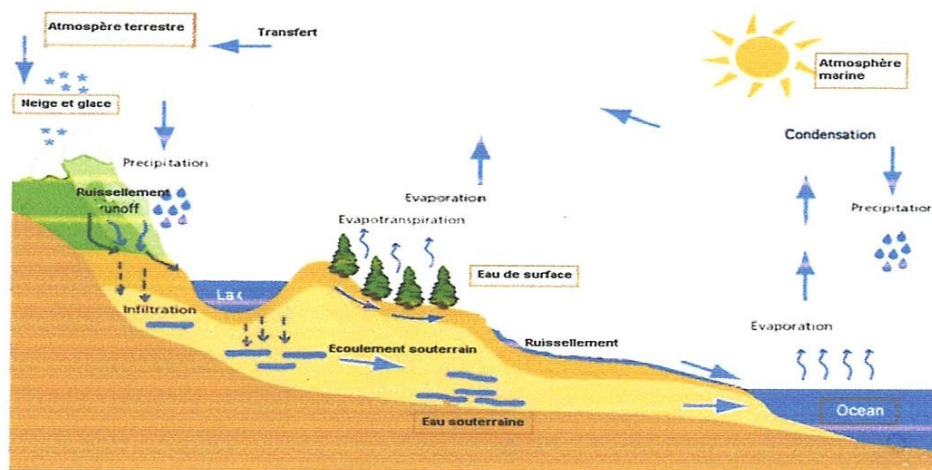


Fig.I.4. Cycle de l'eau

L'eau voyage entre ciel et terre. C'est la même eau qui circule partout, recyclée sans cesse depuis 3 milliards d'années comme nous le montrent les sciences contemporaines, la géologie, la météorologie, la climatologie et l'hydrologie, etc. Fig 1.4 (Mouchet 2011).

L'eau est très mobile et certains de ses éléments qui paraissent distincts les uns des autres comme la pluie, les rivières, les océans, les glaces ou la vapeur d'eau constituent, en fait, les différents états du cycle de l'eau.

Ainsi s'opposent deux types de réservoirs : ceux qui font office de conducteurs (cours d'eau et atmosphère) et ceux qui jouent un rôle d'accumulateurs (glaciers, nappes et océans).

Sous l'effet du soleil, l'eau s'évapore et monte vers l'atmosphère. On estime à 1000 km³ l'eau des océans qui, chaque jour, s'évapore.

Dans les basses couches atmosphériques, elle emmagasine de la chaleur et monte ainsi. Peu à peu, elle se refroidit tout en étant redistribuée par les courants atmosphériques. L'action du froid condense cette eau qui retombe sous forme de précipitations (neige ou pluie). 61 % de cette eau s'évapore, 16 % ruisselle et rejoint les cours d'eau et 23 % s'infiltré et alimente les nappes et rivières souterraines.

1.4 Ressource hydrique

La ressource hydrique est, au sens large, toutes les eaux accessibles comme ressources, c'est-à-dire utiles et disponibles pour l'Homme et les écosystèmes, à différents points du cycle de l'eau. Cette ressource est limitée en quantité et en qualité (zones arides). Elle est indispensable à la vie et à la plupart des activités humaines, telles que les activités liées à l'agriculture, l'industrie et aux usages domestiques (alimentation en eau potable). Elle est vitale pour le fonctionnement des écosystèmes terrestres.

La quantité d'eau sur Terre est gigantesque : environ 1,4 milliards de km³. Cependant, 97,5 % de cette quantité se trouve sous forme d'eau salée et 2,5 % sous forme d'eau douce, soit environ 35 millions de km³. 69,5 % de l'eau douce se présente sous forme de glace et de neige permanente, 30,1 % sous forme d'eau souterraine, 0,27 % sous forme d'eau dans les lacs et rivières, 0,13 % sous une autre forme (atmosphère, humidité dans le sol, marais, etc.). (Morel 2007). Les Figures 5 et 6 ci-après récapitule cette répartition.

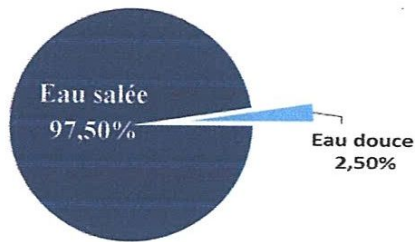


Fig.I.5. Répartition eau salée/eau douce sur terre

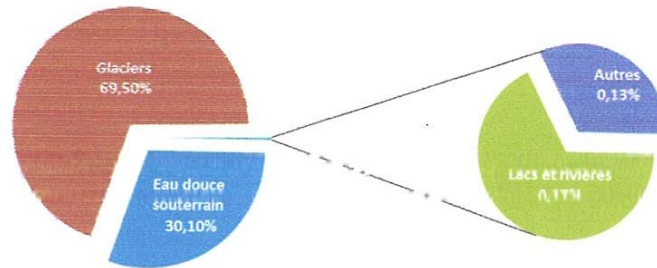


Fig.I.6. Répartition de l'eau douce

I.4.1 Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol.

Les aquifères souterrains sont la réserve majeure (96 %) de l'eau douce exploitable sur les terres émergées. 65 % des eaux qui y sont pompées sont utilisées et parfois gaspillées pour l'irrigation. L'eau potable constitue 25 % des prélèvements alors que l'industrie pompe le reste (10 %).

La carte des réserves aquifères connues en 2008 (publiée par l'UNESCO) montre 273 aquifères transfrontaliers (68 en Amérique, 38 en Afrique, 65 en Europe de l'Est, 90 en Europe occidentale et 12 en Asie où le recensement n'était pas terminé).

Les aquifères majeurs connus en 2008 étaient en Amérique du Sud et Afrique du Nord. Les grands aquifères d'Afrique centrale sont encore mal explorés et rarement exploités.

La pénétration et la rétention des eaux dans le sol dépendent des caractéristiques des terrains en cause et notamment de leur structure qui peut permettre la formation de réservoirs aquifères appelés nappes.

Selon les conditions géologiques, on peut distinguer deux types de nappes :

- Nappes phréatiques ou alluviales : peu profondes et alimentées directement par les précipitations pluvieuses ou les écoulements d'eau en dessus.

- Nappes captives : plus profondes que les premiers et séparées de la surface par une couche imperméables, l'alimentation de ces nappes est assurée par l'infiltration sur leurs bordures

1.4.2 Eaux superficielles :

Par opposition aux eaux souterraines, l'eau de surface est l'eau qui se trouve à la surface ou proche de la surface du sol. Elles ont pour origine soit les eaux de ruissellement, soit les nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseaux puis de rivière. Il s'agit d'une ressource facilement accessible mais malheureusement fragile et vulnérable, la pollution la rendant souvent impropre à l'utilisation en l'absence d'un traitement préalable. La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants (MEROUANI 2013).

Les principales différences entre l'eau de surface et l'eau provenant des sols sont résumées dans le tableau ci-dessous (Kouadri 2013)

Tableau I.4 – Principales différence entre eaux de surface et eaux souterraines

Caractéristique	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable suivant saisons	Relativement constante
Turbidité	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle
Couleur	Liée surtout aux MES sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides humique, etc.)
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets,	Sensiblement constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
Fer et Manganèse dissous	Généralement absent	Généralement présents
Nitrates	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux de pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absents mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Eléments vivants	Bactéries, virus	Ferro bactéries fréquentes

1.4.3 Aperçu sur les ressources en eau au niveau national

L'Algérie est divisée en cinq bassins hydrographiques regroupant les 19 bassins versants du pays (tableau 1.5). Les ressources en eau superficielle renouvelables totales sont estimés à 13.2 Km³ /an dans l'ensemble du pays dont le Sahara, bassin le plus important par la surface, ne renferme que 0.6 Km³ (d'après la FAO).

Les ressources en eau souterraine renouvelables contenues dans les nappes du nord du pays sont estimées à près de 1.5 km³/an.

Ces nappes sont alimentées essentiellement par les précipitations dont la répartition demeure irrégulière à la fois dans le temps et dans l'espace. Le sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eau souterraines très importantes provenant des nappes du continental intercalaire et du complexe terminal (Aquistat).

Tableau I.5 – Bassins versants par bassins hydrographiques en Algérie

BASSIN HYDROGRAPHIQUES	SUPERFICIE EN KM ²	BASSIN VERSANTS
Oranie-Chott Chergui	77169	<ul style="list-style-type: none"> – Cotiers Oranis – Macta – Tafna – Chott Chergui
Cheliff-Zahrez	56227	<ul style="list-style-type: none"> – Cotiers Dahra – Cheliff – Chott Zahrez
Algerois-Hodna-Soummam	47431	<ul style="list-style-type: none"> – Cotiers Algerois – Sebaou – Isser – Soummam – Chott Hodna
Constantinois-Seybouce-Mellegue	44348	<ul style="list-style-type: none"> – Cotiers constantinois – Kebir Rhumel – Medjer Mellegue – Seybouce – Hauts Plateau Constantinois
Sahara	2018054	<ul style="list-style-type: none"> – Sahara – Chott Melgir

I.5 Utilisation des eaux

On peut diviser l'utilisation de l'eau en 2 catégories: utilisation non consommatrice de l'eau, qui laisse l'eau sur place comme par exemple : la pêche, les habitats fauniques, la production d'énergie hydro-électrique et les loisirs (baignade)... Mais dans d'autres, elle est consommée et ne peut donc être retournée (prélèvements qui retirent l'eau de son milieu naturel), comme l'alimentation en eau potable et c'est le cas notamment de l'irrigation, des utilisations ménagères et municipales, la production d'énergie et des activités de transformation.

I.5.1 Types d'utilisation des eaux

I.5.1.a Usage agricole

Les agriculteurs se fient le plus souvent aux sources naturelles locales, plus qu'aux systèmes publics de distribution. La majeure partie des prélèvements mondiaux est destinée à l'irrigation celle-ci est une pratique très ancienne connue depuis l'Antiquité (DRBEO 2004), tableau I.6.

Tableau I.6 – Besoins en eau des diverses cultures pendant la période de croissance

Culture	Utilisation moyenne d'eau (mm ³)	Période de croissance (jour)
Luzernes	635	155
Graminées	610	150
Betteraves sucrières	559	155
Pomme de terre	508	140
Orge	406	90
Maïs cultivé	381	120
Tomate	356	105
Pois de conserverie	330	80
Blé de printemps	457	100

I.5.1.b Usage domestique

L'utilisation domestique de l'eau recouvre principalement la consommation d'eau potable, les bains, la cuisine, les usages sanitaires et le jardinage, cette consommation représente 8 à 10 % de la consommation totale sur la planète.

I.5.1.c Usage Industriel

Généralement les industries transformatrices sont les plus consommatrices en eau. La plus grande part de l'eau qui est utilisée par l'industrie est épuisée dans les réserves naturelles (rivières) et 80 à 90% de celle-ci sert comme eau de refroidissement qui est, elle-même, restituée à 90% au milieu.

I.5.1.d Usage municipal

En distribution urbaine, l'utilisation de l'eau est quantifiée entre 5 et 55% du total de la consommation, aux fins du nettoyage des rues, des fontaines publiques, de l'arrosage des parcs de l'extinction des incendies et en certains lieux publics ou qui appartiennent à l'état, de l'usage non facturé de l'eau.

I.6 Pollution de l'eau

L'eau se renouvelle et se nettoie naturellement en permettant aux polluants (en conséquence de rejets domestiques, industriels et agricoles) de s'infiltrer ou de se détruire, en diluant les polluants au point qu'ils aient des concentrations qui ne sont pas nuisibles. Cependant, ce processus naturel prend du temps et devient très difficile lorsqu'il y a une quantité importante de polluants qui sont ajoutés à l'eau (FEPS s.d.).

La pollution de l'eau survient lorsque des matières sont déversées dans l'eau qui en dégrade la qualité. La pollution de l'eau inclut toutes les matières superflues qui ne peuvent être détruites par l'eau naturellement.

La pollution peut, dans certaines circonstances, être causée par la nature elle-même, comme lorsque l'eau coule par des sols qui ont un taux élevé d'acidité. Par contre, la plupart du temps ce sont les actions humaines qui polluent l'eau.

I.6.1 Sources de La pollution

Il y a 2 sources principales de pollution (FEPS s.d.):

- **Les sources précises** qui incluent les usines, installations de traitements d'eau usées, systèmes de fosses septiques et d'autres sources qui déversent très clairement des polluants dans les sources d'eaux.
- **Les sources non-précises** sont plus difficiles à trouver car on ne peut pas les retracer jusqu'à un emplacement particulier.

Elles incluent les écoulements de sédiments, engrais, produits chimiques, déchets d'animaux de ferme, champs, chantiers et mines. L'enfouissement des déchets peut aussi être une source non-précise si les substances du site filtrent les déchets dans des provisions d'eaux.

On peut diviser la pollution de l'eau en 6 catégories (FEPS s.d.) :

- **Les déchets biodégradables** venant principalement des ménages et les déchets d'animaux. Lorsque les déchets biodégradables coulent dans une source d'eau ils fourniront de l'énergie (carbone organique) aux bactéries présentes dans l'eau. Le carbone organique est convertit en dioxyde de carbone qui peut causer la pollution atmosphérique et les pluies acides.

- **Les substances nutritives** des plantes comme le phosphate et le nitrate passeront dans l'eau par les déchets, l'engrais et le bétail. Le phosphate et le nitrate sont également, présents dans les déchets industriels.

Même si ces produits chimiques sont naturels, 80% du nitrate et 75% du phosphate présent dans l'eau viennent des activités humaines. Lorsqu'il y a trop d'azote ou de phosphore dans l'eau (0,3 partie par million pour l'azote et 0,01 partie par million pour le phosphore) les algues commencent à se développer. Lorsque les algues se développent, l'eau peut devenir verte, embrouillée, gluante et avoir une odeur désagréable. Il y aura des mauvaises herbes et des bactéries se développeront, c'est le phénomène d'eutrophisation de l'eau.

- **La chaleur** est une source de pollution de l'eau. Lorsque la température de l'eau augmente, le nombre de particules d'oxygènes dissoutes diminue.
- **Le dépôt** de sédiment est une source commune de la pollution de l'eau. Le dépôt de sédiment consiste en des matières minérales ou organiques qui sont soit lavés ou transportés par le vent dans des sources d'eau. La pollution par le dépôt de sédiment est difficile à identifier car il provient de source non-précise comme la construction agricole, le bétail, les inondations et les écoulements provenant de la ville.
- **Des produits toxiques et dangereux** sont la plupart du temps des matériaux utilisés par l'homme. Les sources de pollution chimique incluent les déversements industriels et les fuites de pétroles.

- **Les polluants radioactifs** qui sont très dangereux et peuvent prendre des milliers d'années avant de ne plus être dangereux pour l'environnement. Ils proviennent des déversements d'eaux usées d'usines, des hôpitaux et des mines d'uranium. Ces polluants peuvent aussi venir d'isotopes naturels comme le radon.

1.6.2 Pollution des eaux souterraines

L'infiltration d'eau de mer associée à la surexploitation des couches aquifères ou à la lixiviation naturelle sont des sources normales de pollution des eaux souterraines, mais la plupart des contaminations des eaux souterraines est due à l'activité humaine. Cette contamination peut être liée à l'évacuation des déchets d'une manière directe (systèmes privés d'évacuation d'eaux d'égout, élimination des déchets solides, eau usagée municipale, retenu d'eau usagée, propagation du cambouis dans la terre, formation de saumure dû à certaines industries de pétrole, élimination des eaux usées, les déchets radioactifs) ou de manière indirecte (accidents, certaines activités agricoles, exploitation, routes dégivrées, pluies acides, mauvais entretien des puits, sel de route) (MEROUANI 2013).

1.6.3 Pollution des eaux de surface

La qualité d'une eau de surface est déterminée par sa teneur en organisme vivant et par les quantités de substances organiques et minérales qu'elle a entraînées. Dans les régions habitées, parmi les produits polluants peuvent se trouver des matières fécales et des germes pathogènes, ainsi que d'autres déchets humains ou industriels, incomplètement épurés (Isabelle 2013).

1.7 Conclusion

L'eau est la chose la plus nécessaire à l'entretien de la vie, mais elle peut être corrompue. Pour pouvoir être consommée sans danger, l'eau doit donc être traitée. Mais la pollution croissante des réserves rend cette opération de plus en plus délicate, obligeant les traiteurs d'eau à constamment innover.



CHAPITRE II
TRAITEMENT DE L'EAU ET SA QUALITE

II.1 Introduction

Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé selon l'organisation mondiale de la santé. L'eau est soumise à une surveillance et à un contrôle codifié et rigoureux de la qualité depuis la source d'approvisionnement au consommateur. L'objectif principal étant de préserver la santé de la population.

II.2 Gestion de l'eau potable

II.2.1 Production de l'eau potable

L'eau potable qui arrive au robinet du consommateur subit un certain nombre de transformation dans les stations de traitement des eaux. Cette unité d'exploitation consiste à mobiliser les ressources, à les traiter le cas échéant, puis à les transporter sur le lieu où elles seront distribuées (Kouadri 2013).

II.2.1.1 Choix de la ressource

L'eau potable est produite à partir d'eaux brutes, superficielles ou souterraines. Les eaux souterraines sont généralement de meilleure qualité que les eaux superficielles. Le choix de la ressource s'effectue en fonction du couple quantité/qualité (EPMCCD 2014).

II.2.1.2 Mobilisation de la ressource

- **Eaux souterraines** : Les eaux souterraines peuvent être captées de différentes manières suivant leur origine. Il peut s'agir de puits ou de forages pour les eaux issues de nappes phréatiques ou profondes (FigII.1 et FigII.2) ou de captage de sources pour les eaux qui émergent naturellement.

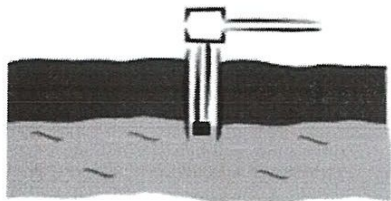


Fig.II.1. Forage dans une nappe souterraine

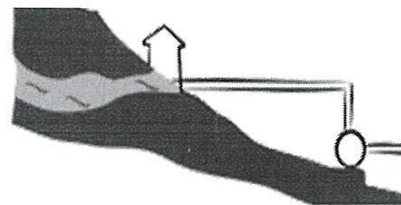


Fig.II.2. Captage d'une source

Les ouvrages sont équipés de pompes qui relèvent l'eau à la surface et l'envoient dans la station de traitement, le château d'eau ou le réseau de distribution.

- **Eaux superficielles** : Les prises d'eau de surface peuvent être situées sur des cours d'eau ou dans des retenues naturelles ou artificielles, destinées notamment à couvrir les besoins en eau potable d'une collectivité. Elles sont mises en place le

plus souvent à l'amont des villes, là où la qualité de l'eau n'est pas encore dégradée par les rejets.

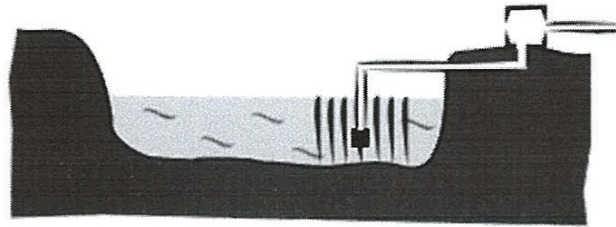


Fig.II. 3. Pompage en rivière protégé par une grille

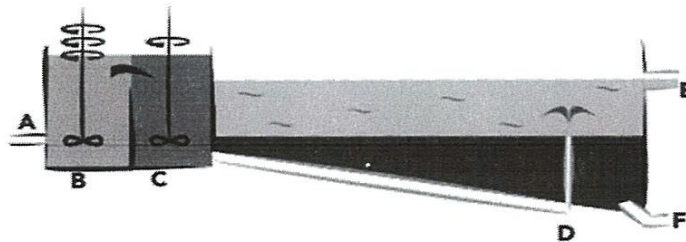
L'aménagement consiste en un ouvrage équipé de pompes destinées à transporter l'eau vers la station de traitement et de grilles constituant un écran contre les corps flottants (bois, feuilles, etc.), FigII.3.

II.2.1.3 Différentes étapes d'un traitement classique

a) Clarification

Elle se fait en deux étapes (Kouadri 2013):

- 1) **La Coagulation/Floculation:** Elle a pour but de déstabiliser les matières colloïdales qui sont des molécules qui ne s'agglomèrent pas naturellement, car elles sont chargées de forces de répulsion électrostatiques.
- 2) **La Décantation:** Elle permet d'éliminer les matières en suspension et les flocons par gravité. Le mélange eau/flocons entre dans le décanteur à vitesse réduite de façon à éviter les turbulences. Les particules alourdis se déposent au fond de l'ouvrage et l'eau clarifiée est récupérée dans des goulottes, en surface, FigII.4 (EPMCDD 2014).



- | | |
|--|---|
| A : Arrivée de l'eau à traiter. | D : Zone de décantation, séparation des flocons qui se tassent au fond. |
| B : Zone d'injection des réactifs, amélioration de la coagulation rapide. | E : L'eau surnageante s'écoule par le haut. |
| C : Zone de floculation, brassage lent pour favoriser le grossissement des particules. | F : Le décantat, appelé "boues" est retiré par le fond. |

Fig.II. 4. Schéma de principe du traitement coagulation- Floculation- Décantation

b) Filtration

C'est un procédé qui permet de retenir les matières en suspension qui n'ont pas été piégées lors de l'étape de clarification.

Le type de filtration mise en œuvre est le plus souvent une filtration sur lit de sable. Ainsi, l'eau clarifiée passe dans une couche de sable qui retient les particules et laisse passer l'eau filtrée, FigII.5 (EPMCDD 2014).

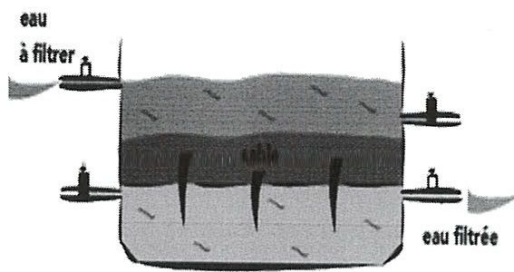


Fig.II.5. filtre à sable en situation de filtration

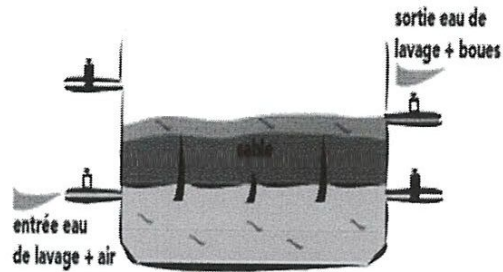


Fig.II.6. Filtre à sable en situation de lavage à contre-courant

Le filtre peut jouer un double rôle suivant les conditions d'exploitation, d'une part, il retient les matières en suspension par filtration et d'autre part, il constitue un support bactérien permettant un traitement biologique, c'est-à-dire une consommation des matières organiques et de l'ammoniaque par les bactéries qui se sont développées sur le sable. Le filtre est lavé périodiquement à l'aide d'un courant d'eau et d'air, FigII.6.

c) Désinfection

L'objectif de ce traitement est d'éliminer les micro-organismes présents dans l'eau, susceptibles d'être pathogènes.

Pour cela, on utilise l'oxydation chimique, avec des oxydants comme le chlore, le bioxyde de chlore, l'ozone ou bien encore les rayonnements ultra-violetts (EPMCDD 2014).

d) Traitements de finition

Les traitements de finition sont le plus souvent constitués d'une filtration sur charbon actif en grain, voire une oxydation à l'ozone. Par exemple, les goûts sont difficiles à traiter sur une filière classique, puisqu'ils sont dus, essentiellement, à des substances dissoutes qui ne sont pas éliminées lors des phases de clarification ou de filtration sur sable. Le charbon actif est un matériau poreux qui possède une très grande surface spécifique (5 m/g) qui permet l'adsorption et la dégradation par voie biologique de substances chimiques comme les micropolluants que l'on peut rencontrer à l'état de

traces dans les eaux brutes. L'utilisation de membranes pour affiner l'eau est de plus en plus fréquente. Elles permettent de retenir des particules moléculaires d'une taille inférieure au centième de micromètre (EPMCCD 2014).

e) Traitements particuliers

Les eaux naturelles contiennent différents éléments chimiques dissous. Selon leurs concentrations, ils confèrent à l'eau des caractéristiques particulières. Certaines substances ne sont pas atteintes par le seul traitement classique. Si leur quantité est supérieure à la norme, un traitement particulier est nécessaire (ultrafiltration, microfiltration, nano-filtration, etc.).

II.2.2 Transport, stockage et distribution

II.2.2.1 Transport de l'eau

Du captage au traitement, l'eau est transportée par des conduites d'adduction. Du traitement à la distribution, ce sont des conduites de transfert. Le transport s'effectue sous pression, grâce aux stations de pompage et par écoulement gravitaire au départ des châteaux d'eau. La désinfection doit être poursuivie durant le transport et la distribution lorsque le réseau est important. En effet, au fur et à mesure que le temps de transfert augmente, le désinfectant introduit lors du traitement est consommé.

Cette fonction est assurée par des postes de chloration situés en quelques points du réseau ou sur les lieux de stockage, évitant la prolifération de micro-organismes, FigII.7.

II.2.2.2 Stockage de l'eau

Pour pouvoir satisfaire à tout moment la demande en eau potable des abonnés, on crée des réserves qui permettent de gérer les pointes de consommation. Elles peuvent être situées sur le lieu de traitement (ce sont souvent des bâches enterrées) ou en différents points du réseau, ce sont alors des bâches au sol, ou des réservoirs surélevés (châteaux d'eau), FigII.8 et FigII.9 (EPMCCD 2014).



Fig.II.7 La station de pompage refoule l'eau traité vers les réservoirs relais.

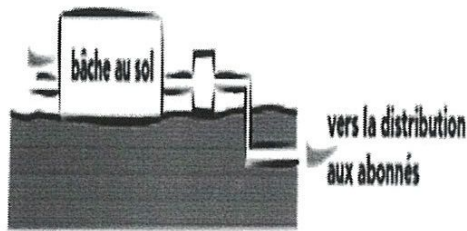


Fig.II. 8 Bâche au sol. La pression à l'aval est maintenue par le pompage.



Fig.II. 9 . Le niveau d'eau du château d'eau est maintenu par le pompage. L'écoulement est gravitaire.

II.2.2.3 Réseau de distribution

Le réseau de distribution est constitué de conduites partant du réservoir et allant vers les zones d'habitation et les zones industrielles.

Les conduites sont exposées à des dangers divers, provoquant des détériorations pouvant aller de la fissure à la rupture. La matière qui compose les conduites varie suivant le diamètre, la pression, la nature du sol, le type d'obstacle à franchir.

À proximité de chaque consommateur, une conduite de petit diamètre est piquée sur la canalisation principale : c'est le branchement.

À l'arrivée chez le consommateur, le compteur installé sur la conduite permet, grâce à des relevés périodiques, de connaître les volumes d'eau consommés et d'établir la facturation.

II.3 Qualité de l'eau potable

Une eau destinée à la consommation humaine est considérée comme potable si elle répond à des exigences de qualité bien définies sur le plan de ses caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques qui ne doivent pas porter atteinte à la santé du consommateur. Pour la qualité des eaux distribuées, on se réfère essentiellement à deux aspects (BOEGLIN 2000) :

- La satisfaction de l'utilisateur, subjective car fondée essentiellement sur la qualité organoleptique et visuelle
- La composition et sa compatibilité avec l'hygiène et la protection de la santé publique.

Dans le cadre de la réglementation algérienne, c'est le décret exécutif n° 14 – 96 du 04 mars 2014 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine qui fixe les limites ou seuils de qualité de l'eau.

Ces paramètres sont regroupés en cinq catégories :

- Qualités organoleptiques (odeur, couleur, saveur, turbidité) ;
- Pesticides ainsi que la composition naturelle de l'eau (pH, teneur en calcium, etc.) ;
- Substances indésirables (nitrates, fluor) ;
- Toxiques (chrome, plomb) ;
- Éléments microbiologiques (virus, bactéries).

II.3.1 Paramètres organoleptiques :

Ces paramètres concernent la couleur, la transparence, la saveur et l'odeur de l'eau. Cependant ces critères n'ont pas de valeur sanitaire directe. Une eau peut être trouble, colorée ou avoir une odeur particulière et néanmoins être consommable (SARI 2014).

II.3.1.1 Couleur

La couleur de l'eau peut provenir de substances minérales comme le fer ou le manganèse et/ou de substances organiques. Les substances organiques comprennent généralement des algues, des protozoaires et des produits naturels (SARI 2014).

II.3.1.2 Odeur

Dans l'eau, diverses molécules sont responsables des odeurs. Elles proviennent essentiellement de la dégradation des composés azotés ou soufrés : amines, ammoniacale, mercaptans, etc. Le tableau II.1 donne Liste des principaux groupes d'odeurs (BOEGLIN 2000).

Tableau II. 1 – Liste des principaux groupes d'odeurs types de l'eau selon l'AFNOR

Code	Nature de l'odeur	Description
A	Aromatique	Epice, camphre, girofle, citron
B	Balsamique	Fleurs diverses
Cc	Chlore	Chlore libre
Ch	Hydrocarbure	Pétrole et dérivés
Cm	Médicale ou pharmaceutique	Iodoforme, phénol, chlorophénol
Cs	Sulfureuse	Hydrogène sulfuré
D	Désagréable	Goût prononcé
Df	Poissons	Uroglenopsis et dinobryon
E	Terreuse	Terre ou argile humide
Ep	Tourbe	Tourbe
G	Herbe	Herbe écrasée
M	Moisi	Cave humide, tiroir humide rarement ouvert
V	Vase	Odeur d'étang, herbe ou feuille en décomposition

II.3.1.3 Gout et saveur

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque la boisson est dans la bouche, Tableau II.2.

La saveur de l'eau est due à de nombreuses molécules et ne révèle pas si l'eau est polluée ou non mais c'est l'une des principales préoccupations formulées par les utilisateurs à l'égard de l'eau qui leur est fournie.

Tableau II. 2 – Liste des saveurs et des goûts de l'eau selon l'Afnor (BOEGLIN 2000)

Nature de la saveur ou du goût	Causes ou observations
Saveur acide	Sensation d'acidité sur la langue
Saveur salée	Sulfates-chlorures
Saveur salée et amère	Eau magnésienne
Goût bicarbonaté, alcalin	Type eau de Vichy
Goût métallique	Fer, manganèse, cuivre
Goût de moisi	Moisissures, champignons inférieurs, levures
Goût de bouchon moisi	Herbicides, pesticides
Goût de marée	Poissons, métabolites de certains organismes du plancton
Goût de terre	Eaux de zones calcaires
Goût pharmaceutique	Produits organiques

II.3.2 Paramètres physico-chimiques en relation avec la nature de l'eau

II.3.2.1 Paramètres physiques

a) Température

La température de l'eau gouverne les solubilités, en particulier celles des gaz mais aussi celles des sels ; elle est liée directement à l'origine de l'eau (BOEGLIN 2000).

Pour l'eau potable, la température maximale acceptable est de 15 °C. Dans les eaux naturelles et au-dessus de 15 °C, il y a risque de croissance accélérée de microorganismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de la couleur et de la turbidité (Kouadri 2013).

La mesure de la température dans le cas d'une eau de surface n'offre pas de difficultés. Elle est mesurée soit avec un appareil électrométrique, soit avec un thermomètre précis (BOEGLIN 2000)

b) Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 et distantes l'une de l'autre de 1 cm . L'unité de conductivité est le siemens par mètre (S/m) ; la conductivité électrique d'une eau s'exprime en micro-siemens par cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$). La conductivité permet d'évaluer rapidement et approximativement la minéralisation globale de l'eau mais pas la nature des minéraux. La conductivité est proportionnelle à la quantité d'ions dissous dans l'eau, Tableau II.3 (BOEGLIN 2000).

Tableau II. 3 – Conductivité des eaux de nappes souterraines

Type d'eau	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Eaux très peu minéralisées (socles granitiques)	< 25
Eaux peu minéralisées (grès)	50 à 100
Eaux du jurassique et du crétacé	200 à 700
Eaux minéralisées du trias	1 000 à 1 500

- Les eaux de surface ont généralement des conductivités inférieures à $1\,500 \mu\text{S}/\text{cm}$ et une minéralisation bicarbonatée calcique ;
- Les eaux des nappes souterraines ont une minéralisation et une composition ionique variables selon la géologie des terrains en contact avec l'eau, la minéralisation augmentant généralement avec la profondeur (SARI 2014).

c) pH des eaux

Le pH ou potentiel d'hydrogène, qui correspond au cologarithme décimal de la concentration en ions H^+ présents dans l'eau, constitue une expression de l'acidité ou de l'alcalinité du milieu qui sont évidemment une résultante de sa composition, Tableau II.4.

La mesure du pH d'une eau s'effectue classiquement par un potentiomètre ou par un colorimètre.

Tableau II. 4 – Classification des eaux d'après leur pH (BOEGLIN 2000)

pH < 5	Acidité forte (présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles)
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée (majorité des eaux des surfaces)
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

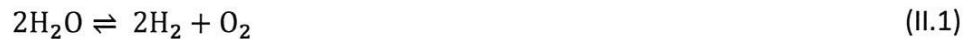
d) Turbidité

En fonction de son origine, l'eau à l'état naturel peut être plus ou moins chargée de particules en suspension ou de matières colloïdales (argile, limon, matières organiques, oxydes métalliques, plancton, etc.). Le trouble de l'eau causé par ces particules est la turbidité. Elle est le premier paramètre perçu par le consommateur, son unité est le NTU et l'appareil utilisé pour les mesures s'appelle le turbidimètre (Rodier 2009).

La référence de qualité de l'eau du robinet est de 2 NTU pour l'eau de source et de 1 NTU pour les eaux issues de nappes, de lacs ou de rivières. La turbidité élevée de l'eau révèle la précipitation de fer, aluminium ou manganèse due à une oxydation dans le réseau.

e) Potentiel redox et du rH

Le pouvoir oxydoréducteur de l'eau est exprimé par la mesure du potentiel redox (en mV) ou du rH, notion définie par Clark comme étant le cologarithme de la pression partielle d'hydrogène, en se basant sur l'équilibre de Sørensen (BOEGLIN 2000) :

**II.3.2.2 Minéralisation et les éléments minéraux majeurs de l'eau**

Les eaux naturelles contiennent des sels minéraux provenant de la dissolution des roches au contact de l'eau lors de son ruissellement sur les terrains et de l'infiltration dans le sous-sol. Elle est plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux superficielles.

a) Minéralisation globale

La minéralisation globale, c'est-à-dire la teneur des sels minéraux dissous exprimée en mg/L, peut être déterminée par le résidu sec, mesure effectuée sur l'eau filtrée, consistant à évaporer une certaine quantité d'eau dans une capsule tarée, et à peser le résidu desséché.

Les eaux très minéralisées, du fait de leur teneur en sels dissous, semblent bien contribuer à l'homéostasie de l'homme et surtout de l'enfant; cependant, elles peuvent poser des problèmes endocriniens très complexes.

Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité, Tableau II.5 (Rodier 2009).

Tableau II. 5 – Détermination de la minéralisation à partir de la conductivité

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Minéralisation
Conductivité < 50	$1,365079 \times \text{Conductivité à } 20\text{ }^\circ\text{C}$
$50 < \text{Conductivité} < 166$	$0,947658 \times \text{Conductivité à } 20\text{ }^\circ\text{C}$
$166 < \text{Conductivité} < 333$	$0,769574 \times \text{Conductivité à } 20\text{ }^\circ\text{C}$
$333 < \text{Conductivité} < 833$	$0,71592 \times \text{Conductivité à } 20\text{ }^\circ\text{C}$
$833 < \text{Conductivité} < 1000$	$0,458544 \times \text{Conductivité à } 20\text{ }^\circ\text{C}$
Conductivité > 1000	$0,850432 \times \text{Conductivité à } 20\text{ }^\circ\text{C}$

b) Dureté

Dans la nature, le calcaire se trouve surtout sous forme de roche minérale, mais se dissout facilement dans l'eau, conférant à celle-ci une certaine dureté (Titre Hydrotimétrique). Cette caractéristique, qui équivaut à la teneur en calcium et en magnésium dissout dans l'eau, s'exprime en degrés français ($^\circ\text{F}$).

Il n'est pas recommandé d'avoir de l'eau très dure en milieu domestique: le calcaire réagit en présence de substances alcalines telles que le savon et se précipite lorsque l'eau est portée à ébullition ou s'évapore.

Le tableau II.6 donne, en fonction de leur origine géologique une classification des eaux d'après leur dureté (Rodier 2009).

Tableau II. 6 – Classification des eaux en fonction de leur dureté

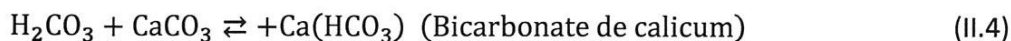
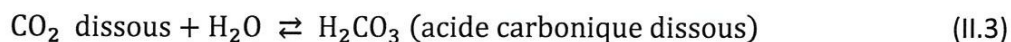
Dureté ($^\circ\text{F}$)	Classe
0 à 7	eaux très douces
7 à 15	eaux douces
15 à 25	Moyennement dure
25 à 32	dureté normale
32 à 42	eaux dures
>42	eaux extrêmement dures

c) Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence d'ions hydrogénocarbonates ou bicarbonates, carbonates et hydroxydes provenant du cycle du carbone minéral présent dans la nature sous deux formes prépondérantes :

- A l'état de carbonates (roches calcaires) ;
- A l'état gazeux qui représente la forme circulante du carbone inorganique.

Les échanges de CO_2 entre hydrosphère (eau), atmosphère et lithosphère (continents émergés) se traduisent par l'ensemble des réactions suivantes (BOEGLIN 2000) :



- **Le titre alcalimétrique simple TA** mesure la teneur de l'eau en hydroxydes libres et en carbonates, elle correspond à l'alcalinité entraînée par les ions OH^- et à la moitié des ions CO_3^{2-} . Cette alcalinité composite est nulle pour une eau dont le pH est inférieur ou égal à 8,3.
- **Le titre alcalimétrique complet TAC** correspond à la teneur en hydroxydes libres, carbonates et hydrogénocarbonates, elle correspond à l'alcalinité totale au pH de 4,5 ; ce qui revient à déterminer les ions HCO_3^- , CO_3^{2-} et OH^- .

d) Acidité de l'eau

L'acidité de l'eau correspond à la présence d'anhydride carbonique libre, d'acides minéraux et de sels d'acides forts et de bases faibles. On distinguera :

- l'acidité totale ;
- l'acidité en acides minéraux (acides forts libres) : TAF (titre en acide forts).

On mesure l'acidité totale et le TAF (titre en acide fort) par titrage avec une solution d'hydroxyde de sodium NaOH N/10 en présence d'indicateurs colorés : phénolphthaléine (pour l'acidité totale) et méthylorange (pour le TAF) (SARI 2014).

e) Ions chlorures Cl^-

Le chlorure (Cl^-) est un anion essentiel pour le corps. Il est souvent présent sous formes de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). L'eau contient presque toujours des chlorures, mais en proportion très variable. D'ailleurs, la teneur en chlorures augmente généralement avec le degré de minéralisation d'une eau. Certaines eaux souterraines sont très saumâtres. Il en est de même pour les nappes souterraines voisines des eaux de surface salines, surtout s'il y a pompage excessif de ces nappes.

f) Ions sulfates SO_4^{2-}

Le sulfate SO_4^{2-} est un anion présent dans l'acide sulfurique et dans les produits sulfatés. Les eaux naturelles contiennent des sulfates en proportion très variables. Leur présence résulte de la solubilité des sulfates de calcium des roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures répandus dans les roches (les pyrites par exemple).

g) Cations alcalinoterreux**■ Ion calcium Ca^{2+}**

Le corps humain comprend 1,2 kg de calcium essentiellement dans le squelette. L'eau potable de bonne qualité renferme de 100 à 140 mg/L de calcium (Rodier 2009). Le calcium ne peut en aucun cas poser des problèmes de potabilité, le seul inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage. Par contre, les eaux douces peuvent entraîner des problèmes de corrosion des canalisations (Rodier 2009).

■ Ion magnésium Mg^{2+}

Éléments indispensables à la vie, jouant un rôle important dans la respiration, son origine est naturelle (dissolution des roches magnésites, basaltes, argiles) ou industrielle (industrie de la potasse, de cellulose, brasserie). La dureté manganésienne de l'eau représente ordinairement le tiers de la dureté totale. Le magnésium en excès donne une saveur amère à l'eau (Rodier 2009).

h) Cations alcalins**■ Ion de sodium Na^+**

C'est un métal alcalin. Son origine peut être (SARI 2014) :

- Naturelle (mer, terrain salé, etc.) ;
- Humaine (10 à 15 g Na Cl dans les urines /jour) ;
- Industrielle (potasse, industrie pétrolière).

Les eaux très riches en sodium deviennent saumâtres, prennent un goût désagréable et ne peuvent pas être consommées. On peut également signaler que le sodium joue un rôle important en agriculture, pour l'irrigation, du fait de son action sur la perméabilité des sols .

■ Ion potassium K^+

Le potassium joue un rôle majeur dans le bon fonctionnement de notre organisme. Celui-ci permet l'activation des cellules nerveuses et musculaires (SARI 2014).

■ Ions Carbonates et Bicarbonates (CO_3^- , HCO_3^-)

L'ion Bicarbonate est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. Sa présence dans l'eau est due à l'action des bactéries qui fournissent du CO_2 .

Une forte teneur en carbonate CO_3^- et en bicarbonate (HCO_3^-) augmente la valeur du TAS (taux d'absorption de sodium). Les ions carbonate et bicarbonate combinés au calcium ou au magnésium précipiteront sous forme de carbonate de calcium CaCO_3 ou carbonate de magnésium MgCO_3 dans des conditions de sécheresse (BOEGLIN 2000).

Lorsque la concentration de Ca et de Mg décroît, en comparaison la teneur en sodium et l'indice TAS deviennent plus importants. Ceci causera un effet d'alcalisation et augmentera le pH. Par conséquent, lorsqu'une analyse d'eau indique un pH élevé, cela peut être le signe d'une teneur élevée en ions carbonate et bicarbonate.

II.3.2.3 Gaz présents dans l'eau

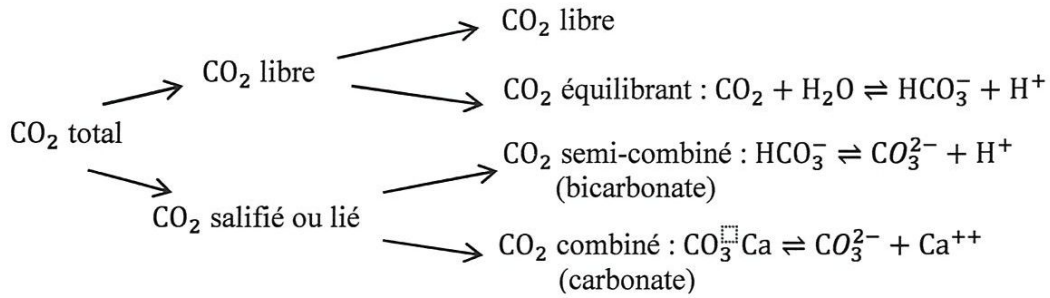
On trouve dans l'eau de nombreux gaz dissous : oxygène, bioxyde de carbone, hydrogène sulfaté, azote, anhydride sulfureux et ammoniac, dont la solubilité varie inversement à la température et croît avec la pression

a) Oxygène dissous

La teneur en oxygène dissous (TOD) est le paramètre le plus fondamental de la qualité de l'eau. Il provient principalement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des végétaux aquatiques. La quantité d'oxygène disponible pour la vie aquatique dépend des facteurs qui agissent sur la solubilité de ce gaz. La concentration de saturation de l'oxygène dissous est rapidement atteinte à l'interface air-eau des plans d'eau et est relativement uniforme dans l'ensemble de la colonne d'eau des cours d'eau de faible profondeur (CCCE 1999).

b) Dioxyde de carbone (CO_2)

L'anhydride carbonique joue un rôle extrêmement important dans le chimisme de l'eau, dans la mesure où la répartition du gaz carbonique en ses différentes formes : CO_2 et carbonates), CO_2 lié ou combiné (bicarbonates libre, c'est-à-dire, en fait, les équilibres acide carbonique-bicarbonate-carbonate Fig II.10, sont à la base des propriétés agressives et incrustantes des eaux, qui dépendent du gaz carbonique en solution, de l'alcalinité et du pH (BOEGLIN 2000).

Fig.II.10. Répartition du CO₂ dans l'eau

II.3.3 Paramètres concernant les substances indésirables

II.3.3.1 Matières organiques

Les matières organiques susceptibles d'être rencontrées dans une eau comprennent, d'une part, celles provenant spontanément de la vie végétale ou animale et, d'autre part, celles provenant de la contamination des eaux par la pollution urbaine et/ou industrielle (BOEGLIN 2001).

La demande chimique en oxygène (DCO), exprimée en mg O₂/L, qui représente la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder, dans un contexte réactionnel bien défini, les substances oxydables contenues dans l'échantillon.

- **La demande totale en oxygène (DTO)**, exprimée en mg O₂/L, qui par une technique instrumentale, mesure la consommation d'oxygène suite à une combustion catalytique des matières organiques dans un four à 900 °C.
- **Le carbone organique total (COT)**, exprimé en mg O₂/L, dont le dosage est réalisé en utilisant une technique instrumentale dont le principe réside dans l'oxydation catalytique à 950 °C des éléments carbonés qui donnent de l'anhydride carbonique CO₂, dosé par un analyseur infrarouge.
- **La demande biochimique en oxygène (DBO₅)** qui est la quantité d'oxygène consommée (en mg O₂/L) pour assurer la dégradation (par voie bactérienne) des matières organiques contenues dans un litre d'échantillon d'eau sous analyse, à l'obscurité et à température de 20 °C.

II.3.3.2 Substances azotées

L'azote dans l'eau peut avoir un caractère organique lorsqu'il provient de la décomposition de déchets azotés (urée, azote organique) des eaux usées domestiques ou

des résidus d'animaux (fumier, purin) ou un caractère minéral (azote ammoniacal, nitrite et nitrate) résultant de la minéralisation et de l'oxydation de la matière organique azotée ou d'une origine strictement industrielle et agricole (engrais azotés) (CFPT 2013).

La valeur 50 mg/L est proposée pour les nitrates dans l'eau potable. Cela équivaut à une concentration de 10 mg/L d'azote de nitrate.

La valeur de 3 mg/L est proposée pour le nitrite dans l'eau potable. Cela équivaut à une concentration de 1 mg/L d'azote de nitrite .

Les nitrites sont plus dangereux pour la santé que les nitrates. Mais, les nitrates peuvent se transformer en nitrites par réduction dans l'organisme dans des conditions favorables. Le couple $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ a comme demi équation redox :



II.3.3.3 Composés phosphorés

Le phosphore, qui peut avoir une origine naturelle (phosphates calciques) ou provenir d'une contamination fécale (eaux usées domestiques), industrielle (industrie chimique) ou agricole (engrais), est responsable de l'accélération des phénomènes d'eutrophisation dans les lacs et les rivières. Il peut exister dans les eaux en solution ou en suspension à l'état organique ou sous forme de sels minéraux (orthophosphates, polyphosphates) (BOEGLIN 2000).

Les composés phosphorés qui sous hydrolyse ou minéralisation répondent au test colorimétrique sont considérés comme étant des orthophosphates.

L'hydrolyse en milieu acide fait apparaître le phosphore hydrolysable et la minéralisation le phosphore organique.

II.3.3.4 Composés sulfures réducteurs

Ils se retrouvent particulièrement dans les eaux minérales naturelles, mais on peut les rencontrer aussi dans l'eau après certaines pollutions d'origine industrielle (industrie pétrochimique, tanneries, papeteries) ou sous l'action de bactéries sulfatoréductrices du type *Sporovibrio* assurant en milieu anaérobie la réduction des sulfates responsables de mauvaises odeurs (œuf pourri) (BOEGLIN 2000).

II.3.3.5 Fluorures

Les ions fluor peuvent avoir une origine naturelle (roches à base de cryolithe, fluoroapatite), ce qui explique leur présence dans de nombreuses eaux souterraines, ou être issus de la contamination de l'eau par diverses activités industrielles (métallurgie de l'aluminium, décapage des métaux, polissage du verre, etc.).

Ils se fixent sur les tissus calcifiés (tissus osseux, dents) ce qui est bénéfique à faible dose (évite les caries) mais, à forte dose, les fluorures provoquent la fluorose dentaire (émail tacheté, chute des dents) et osseuse (hypercalcification et fragilisation du squelette) (BOEGLIN 2000).

II.3.3.6 Hydrocarbures totaux dissous et/ou émulsionnés

On regroupe généralement sous le terme d'hydrocarbures des molécules renfermant seulement des atomes de carbone et d'hydrogène. Susceptibles de polluer l'eau ; Ils ont pour source les rejets pétroliers, d'huiles de vidanges d'effluents de différentes industries. Leur nuisance est l'apparition de goûts et d'odeurs pour des seuils extrêmement variables.

La toxicité serait à craindre dans les eaux de boisson pour des doses supérieures aux seuils d'apparition de goûts et odeurs. Ont été constatées (SARI 2014).

II.3.3.7 Agents de surface ou détersifs

Les détergents (ou détersifs ou agents de surface) comprennent un ensemble de produits que l'on regroupe classiquement en trois catégories (BOEGLIN, Contrôle des eaux douces et de consommation humaine 2000):

- Les anioniques : alcanes ou aromatiques sulfonés ;
- Les cationiques : essentiellement des chlorures d'ammonium quaternaires ;
- Les non ioniques qui résultent de la condensation d'oxyde d'éthylène sur des produits tels que les alcools gras ou les amines grasses.

Ces produits ont des effets écologiques (faible biodégradabilité de certains composés) et esthétiques (formation de mousses sur les rivières) défavorables ; ils engendrent par ailleurs le « goût de savon » dans les eaux d'alimentation, même à des doses très faibles.

Éléments métalliques : Fer, Manganèse, Aluminium

La présence de ces produits en dissolution dans l'eau provient principalement : du lessivage des sols, avec dissolution des roches et minerais, des rejets industriels, de la corrosion des canalisations métalliques (SARI 2014).

Le fer est présent dans l'eau sous trois formes : le fer ferreux Fe^{2+} , le fer ferrique Fe^{3+} , et le fer complexé à des matières organiques (acides humiques, fulviques, tanniques, etc.) et minérales (silicates, phosphates). Ils n'ont pas véritablement un caractère toxique, mais engendrent (pour le fer et le manganèse) un effet esthétique défavorable et un mauvais goût dans les eaux de distribution publique. L'aluminium s'avère particulièrement gênant pour les dialysés rénaux.

II.3.4 Paramètres toxiques et indésirables

On appelle métaux lourds les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5 g/cm^3 . Les micropolluants métalliques généralement ciblés dans le cadre réglementaire sont essentiellement le mercure (Hg), l'antimoine (Sb), l'argent (Ag), le baryum (Ba), le cuivre (Cu), le cobalt (Co), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le zinc (Zn), l'étain (Sn) sans oublier l'arsenic (As) et le sélénium (Se). Les plus toxiques d'entre eux sont le plomb, le cadmium et le mercure (Popescu 2006).

Ces éléments, bien qu'ils puissent avoir une origine naturelle (roches du sous-sol, minerais), proviennent essentiellement de la contamination des eaux par des rejets d'activités industrielles diverses (traitement de surface, galvanoplastie, hydrométallurgie, industries minière, chimique, pétrochimique, pharmaceutique, etc.).

II.3.5 Caractères microbiologiques

L'eau destinée à l'alimentation humaine contient une multitude de microorganismes pathogènes, agents d'infections humaines redoutables. Ce sont des bactéries, des virus, voire des champignons et des algues (BOEGLIN 2000).

II.4 Région d'étude

Comme nous avons déjà vu, l'accessibilité et la qualité de l'eau est variable d'une région à l'autre du fait des phénomènes climatiques, géographiques, socioculturels et économiques. Alors un aperçu sur la cartographie de La région d'étude rend possible de nouvelles informations en fournissant des moyens pour comprendre les phénomènes relatifs à la qualité de l'eau.

II.4.1 Situation géographique

La région de Guelma fait partie de l'ensemble géologique du Tell d'Algérie Nord orientale. Cet ensemble qui s'étend de la région de Constantine à la frontière Algéro-Tunisienne a une longueur d'environ 200 kilomètres. Sa structure, trop complexe, est due essentiellement à des mouvements tectoniques tertiaires, surtout miocènes (NOUAR 2007).

Les altitudes les plus élevées que l'on rencontre dans la région de Guelma sont Djebel Mahouna (1411m) et Ras El Alia (1317m). Dans la partie Sud, les altitudes varient de 100 à 1400m. C'est dans le cycle d'érosion que s'inscrit la région de Guelma qui présente toutes les caractéristiques morphologiques d'une région où les eaux ont été le principal agent modificateur.

La plaine creusée par la Seybouse offre des pentes généralement peu accentuées, plus douces pour les versants exposés au Sud. Son fond est plat et présente une faible pente longitudinale et transversale.

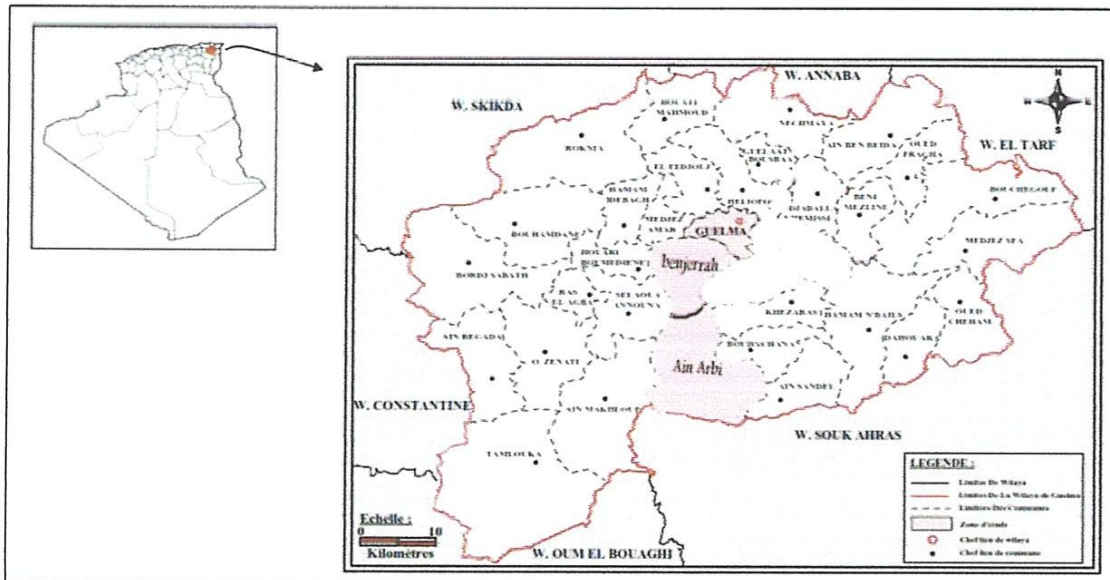


Fig.II. 11. Carte de situation géographique de la zone d'étude (source :DPAT 2008)

II.4.2 Climat

La région est soumise à un climat de type Méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes, l'une humide marquée par une forte pluviométrie allant d'octobre à mai et par de faibles températures, l'autre sèche et chaude avec de fortes températures; atteignant leur maximum au mois d'août (KAHOUL 2014).

II.4.3 Géomorphologie et réseau hydrographique

La région de Guelma est un ancien bassin d'effondrement longtemps fermé où s'est entassé un ensemble varié de sédiments allant du miocène au quaternaire (AOUISSI 2010).

Le réseau hydrographique (Fig II.12) est très dense. Il est constitué principalement de l'Oued Seybouse (57,15 km) et ses majeurs affluents dont l'écoulement général est d'Ouest en Est pour l'Oued Bouhamdane (45,37 km) et du Sud vers le Nord pour l'Oued Cherf (36,46 m), l'Oued Zimba, l'Oued Maiz, l'Oued Skhoune, l'Oued Boussora, l'Oued Hlia et l'Oued Melah. L'Oued Bouhamdane et l'Oued Cheref drainent respectivement des sous bassins de 1105 km² à la station de Medjez Amar, point de confluence et de naissance de l'Oued Seybouse.

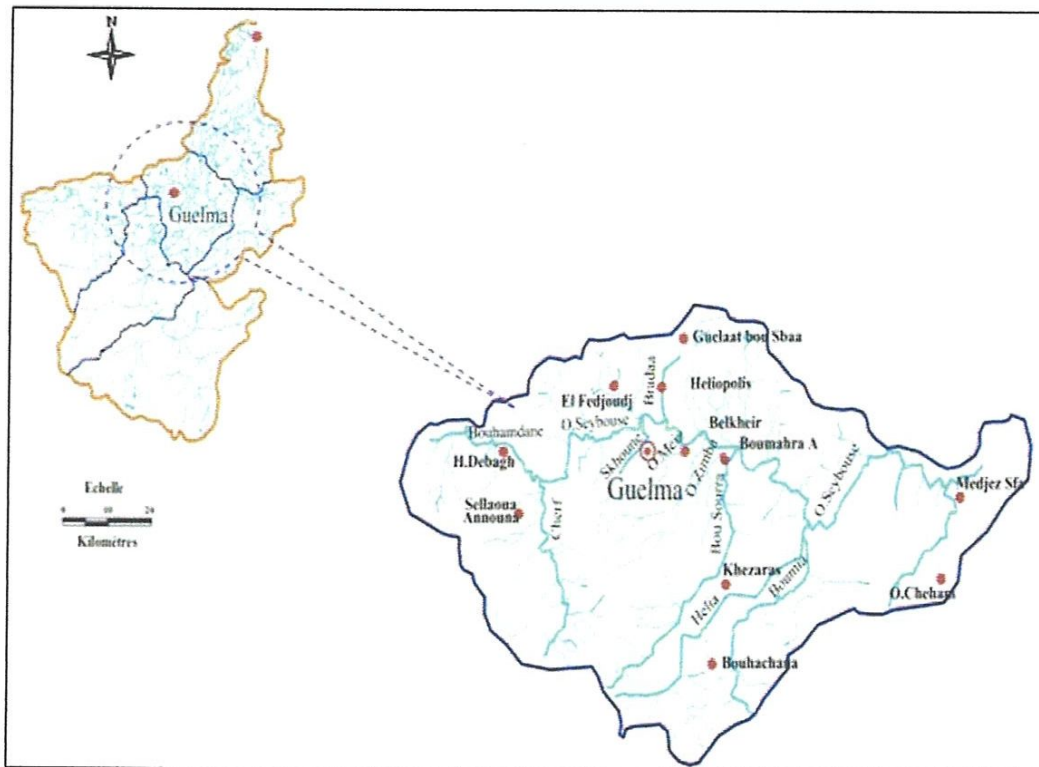


Fig.II. 12. Le réseau hydrographique (source : Aouissi)

II.4.4 Cadre géologique

La géologie de la région de Guelma est caractérisée par des formations allant du Quaternaire au Trias, présentant ainsi une lithologie très variée qui comprend essentiellement: les alluvions (sable, gravier, cailloutis, etc.), les grès, les marnes, les argiles, les flyschs et les calcaires. La dépression qui forme le réservoir aquifère de la

vallée de Guelma est remplie par les alluvions d'âge Plio-quadernaire. Ce remplissage constitue l'ancienne et l'actuelle terrasse de la vallée de la Seybouse (AOUISSI 2010) .

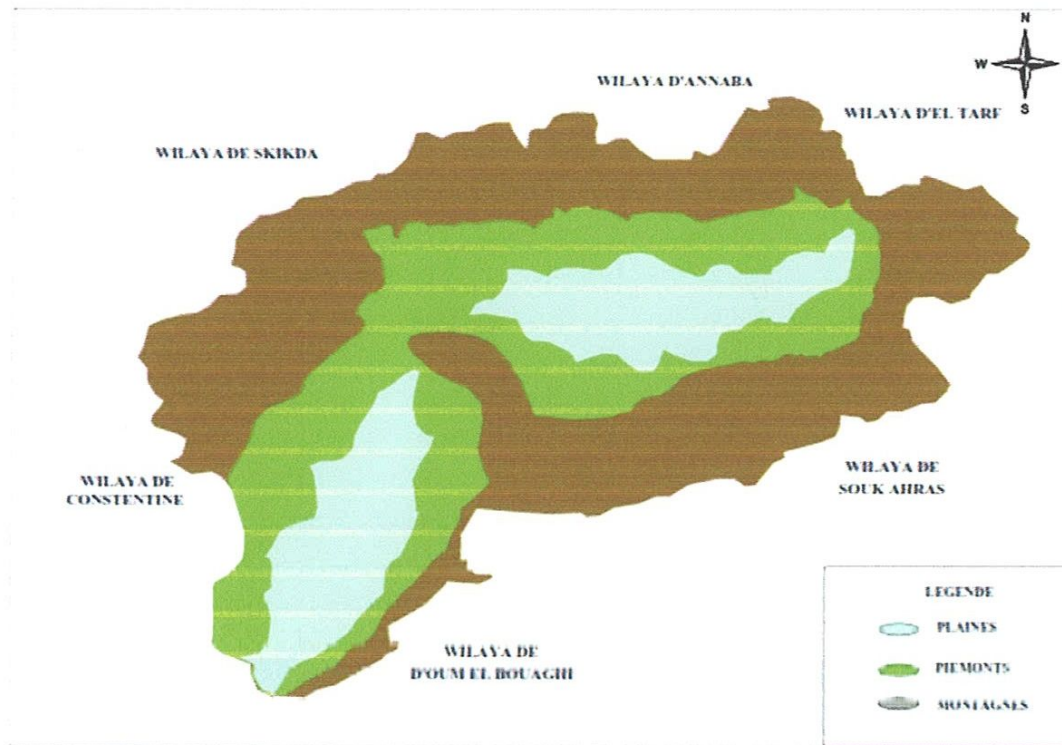


Fig.II. 13. Géomorphologie de la région de Guelma (BENMARCE 2007)

II.5 Conclusion

L'eau potable est une denrée rare et précieuse qui a un coût, et qu'il ne faut pas gaspiller. Elle est produite à partir de ressources naturelles qu'il convient de protéger afin d'éviter la mise en place de traitements complexes et coûteux.

L'eau potable a une composition variable selon son origine ; eau de surface ou eau souterraine, et fonction du réseau géographique qu'elle traverse. L'eau peut également contenir des composés indésirables qui affecteront ses qualités et qui doivent être éliminés ou du moins leur teneur devra être réduite avant d'arriver chez le consommateur.

III.1 Introduction

Comme nous avons vu dans le chapitre II, d'éventuelles pollutions peuvent modifier les caractéristiques naturelles de l'eau. Ces caractéristiques sont déterminées à l'aide de mesures et d'analyses différentes.

L'objet principal de ce travail est l'analyse de l'eau potable de la wilaya de Guelma.

Notre étude expérimentale a été réalisée au sein du Laboratoire de Génie Civil et d'Hydraulique (LGCH) et du Laboratoire d'Analyses Industrielles et Génie des Matériaux (LAIGM) de l'université 08 Mai 1945 Guelma.

Ce chapitre est consacré à la description du matériel utilisé et des techniques d'analyses suivies au cours de cette étude.

III.2 Echantillonnage

III.2.1 Les eaux analysées

Les eaux ayant fait objet de cette étude sont celles provenant :

- **des robinets** de consommateurs du réseau publique de distribution de l'eau potable de différentes cités de la ville de Guelma, Fig III.1 ;

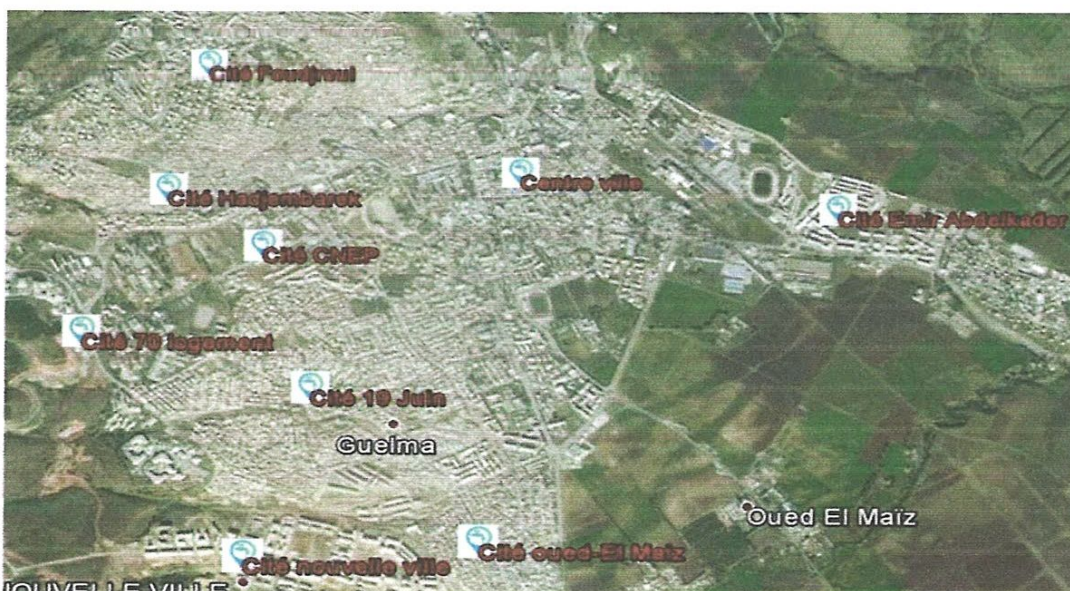


Fig III. 1. Les points du prélèvement des eaux de robinet choisis au niveau de la ville de Guelma

Le prélèvement des eaux de robinet a été réalisé sur une période de cinq (5) jours en fonction de la distribution d'eau. Les autres eaux issues des mêmes points de prélèvement ont été collectées huit (8) à quinze (15) jours auparavant à titre comparatif.

Tableau III. 1 – Dates de collecte de différentes eaux de robinet choisis au niveau de la ville de Guelma

Origine de l'eau	Code	Date de collecte
Cité du Oued El Maïz	ERA	16/03/2015
Cite du CNEP	ERB	16/03/2015
Cité du Nouvelle Ville	ERC	16/03/2015
Cité du Emir Abdelkader(1)	ERD1	14/03/2015
Cité du Emir Abdelkader(2)	ERD2	15/03/2015
Cité du Fougerolles (1)	ERE1	13/03/2015
Cité du Fougerolles (2)	ERE2	16/03/2015
Cité du 19 Juin (1)	ERF1	01/03/2015
Cité du 19 Juin (2)	ERF2	14/03/2015
Cité du Hadj M'bark (1)	ERG1	03/03/2015
Cité du Hadj M'bark (2)	ERG2	16/03/2015
Centre ville	ERH	17/03/2015
Cité des 70 Logements	ERI	15/03/2015

- **de dix (10)** sources environnantes situés à Guelma, où un grand nombre d'habitants ne bénéficie pas ou très rarement d'eau du réseau publique de distribution de l'eau potable, Tableau III. 2 ;

Les eaux des différentes sources de la wilaya de Guelma ont été collectées au cours du mois de mars. Une eau de source provenant de la région de Constantine a été également analysée à titre comparatif.

Tableau III. 2 – Les eaux de sources concernées par ce travail

Source	Code
Matwiya	S 1
Bekkouche Ahmed	S 2
Bendjerrah	S 3
Ras Elma	S4
Ain Souda	S 5
Camp Ali Cherif	S 6
Ain Arbi	S 7
Constantine	S 8
Ain Safra(1)	S 9
Ain Safra(2)	S 10

En se référant à Google Earth 2015, nous avons représenté géographiquement sur une carte les points d'eau choisis, Fig iii.2.



Fig III. 2. Situation géographique des eaux de sources concernées par ce travail

iii.2.2 Mode de prélevement

L'échantillonnage destiné à la physico chimie ne pose pas de problèmes particuliers. Des flacons en plastiques (polyéthylène) bien lavés ont été suffisants et le volume du prélèvement est de 1,5 litres pour une analyse complète (AOUISSI 2010).

- Dans le cas de prélèvement à un robinet, il a été indispensable (dans la mesure du possible) d'attendre que l'eau en stagnation dans les canalisations soit éliminée.
- Dans le cas de prélèvement à une source, l'eau a été recueillie directement dans le flacon.

A chaque prélèvement, les flacons sont rincés d'abord avec l'eau à analyser puis ils sont remplis jusqu'au bord, rébouchonnés et étiquetés

III.3 Méthodes d'analyse

III.3.1 Paramètres physiques

III.3.1.1 Mesure du pH

a) Principe

Nous avons utilisé la méthode potentiométrique avec électrode de verre qui est la plus précise, et elle est couramment utilisée (Rodier 2009).

La sonde de pH est une sonde électrochimique, constitué d'une électrode de mesure et d'une électrode de référence. L'électrode de mesure se compose d'un verre spécial dont les propriétés de surface rendent particulièrement sensible aux ions hydrogène. Elle est remplie d'une solution tampon ayant un pH de 7. L'immersion dans la solution mesurée provoque un changement de tension sur l'électrode de mesure par rapport à l'électrode de référence. Ce changement est constaté et converti à la valeur du pH par l'instrument de mesure (WTW Photométrie).

b) Matériel

L'instrument de mesure utilisé est un pH-mètre de marque **InoLab Level 3** avec terminal Level 3, Fig iii.3.



Fig III.3. pH mètre InoLab Level 3 avec terminal Level 3

c) Lecture

Après l'opération d'étalonnage du pH-mètre à l'aide des deux solutions tampons à pH=4 et pH=7, le protocole de mesure se fait comme suit (pH INOLAB) :

- Introduction de l'électrode dans l'échantillon ;
- La lecture après la stabilisation de pH ;
- Rinçage de l'électrode à l'eau distillée après chaque utilisation

III.3.1.2 La température

La mesure de la température se fait au même temps avec le pH par le pH-mètre



Fig III.4. Mesure de la température par le pH-mètre

III.3.1.3 Mesure de la conductivité, résidu sec et la salinité

Le pH-mètre INOLAB LEVEL 3 est un instrument multi-paramètres qui peut analyser la conductivité, résidu sec et la salinité. De ce fait, la sonde est changée avant de procéder à la mesure.

a) Principe

Une tension alternative est appliquée sur une des électrodes, provoquant la migration des ions de la solution vers l'autre électrode. Plus la solution contient d'ions, plus le courant circulant entre les électrodes sera important (WTW Site).

b) Lecture

La conductivité, résidu-sec et la salinité sont mesurés en même temps.



Fig III. 5. Mesure de la conductivité



Fig III. 6. Mesure des résidu sec

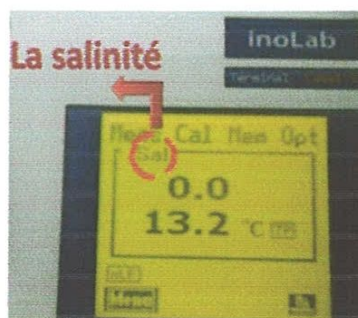


Fig iii. 7. Mesure de la salinité

III.3.1.4 Turbidité

a) Principe

Pour déterminer la turbidité, on mesurait autrefois la lumière qui traversait le liquide. La mesure de la lumière diffusée sous un angle de 90° s'est avérée supérieure, spécialement dans les champs de mesure plus bas. Les appareils de mesure qui utilisent cette méthode sont appelés néphélomètres (WTW Turbidité) .

b) Matériel

On utilise un turbidimètre (néphélomètres) de marque Turb®355 IR- WTW portatif. Il permet de faire des mesures rapides.



Fig III. 8. Turb®355 IR- WTW

c) Lecture

Pour mesurer la turbidité d'un échantillon, on suit les étapes suivantes (WTW Turbidité):

- Rinçage d'une cuve propre avec l'échantillon (env. 10 ml) à analyser ;
- Répétition de ce processus de rinçage à 2 reprises ;
- Remplissage de la cuve par l'échantillon à analyser (environ. 15 mL), Fermeture de la cuve avec le couvercle étanche à la lumière. On s'assure que l'extérieur de la cuve est propre, sec et exempt d'empreintes digitales ;
- Insertion de la cuve dans le puits à cuve de sorte qu'elle s'encastre ;
- Lecture de la valeur de mesure lorsqu'elle s'affiche en respectant les instructions données par le fabricant (WTW Turbidité)

III.3.2 Minéralisation et les éléments minéraux majeurs de l'eau**III.3.2.1 Dureté**

Au cours d'une ébullition prolongée, une partie des ions participant à la dureté de l'eau sont éliminés par la précipitation de carbonates de calcium et de magnésium. La dureté de l'eau qui a subi un tel traitement est appelé "dureté permanente". La différence entre la dureté totale et la dureté permanente s'appelle "dureté temporaire".

$$\text{Dureté totale} = \text{Dureté permanente} + \text{Dureté temporaire} \quad (\text{III.1})$$

a) Principe

On utilise un dosage complexométrique par l'EDTA (acide Ethylène Diamine Tétra-Acétique). Les titrages complexométriques sont des méthodes titrimétriques basées sur

la formation de complexes. Ces complexes sont constitués d'un ion central et de particules (chargées ou neutres) appelées ligands ou coordinats. Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'EDTA.

b) Réactifs

- Indicateur coloré: noir d'Eriochrome T (N.E.T) ;
- Solution d'EDTA (0,2 N);
- Solution tampon : (250 mL solution d'ammoniac à 1 mol/L + 250 mL d'une solution de chlorure d'ammonium à 1 mol/L).

c) Mode opératoire

Il faut procéder dans des conditions opératoires précises (Rodier 2009) ;

La réaction se produit dans une solution de pH très voisin de 10 ;

- L'équivalence n'est pas directement repérable par un changement d'aspect du milieu (les réactifs ainsi que les produits formés sont incolores) ; le virage d'un indicateur coloré du rose au bleu 'pur' indiquera la fin des réactions de dosage.

– Mesure de la dureté totale

Pour 100 mL d'eau à analyser, on va ajouter 2 mL de solution tampon (pH=9,5–10) et quelques grains d'indicateur coloré, puis on verse la solution d'EDTA jusqu'au virage du rose au bleu. Ainsi, on note $V_{\text{Dureté}}$ le volume de solution d'EDTA versé (Rodier 2009).

– Mesure de la dureté permanente

L'eau est d'abord bouillie jusqu'à réduction du volume initiale de moitié puis filtrée afin d'éliminer les dépôts blancs qui s'y sont formés et complétée avec de l'eau distillée de fraîche date à 100 mL (avec une fiole jaugée). On effectue le dosage, en procédant comme précédemment, de cette eau (Nicole SP).

– Calcul de la dureté temporaire

En appliquant l'équation (III.1), on peut calculer la valeur de la dureté temporaire.

d) Expression des résultats

$$\text{Dureté } (^\circ\text{F}) = V_{\text{Dureté}}(\text{mL}) \times 10 \quad (\text{III.2})$$

III.3.2.2 Alcalinité (TA - TAC) et bicarbonate

On distingue deux titres qui sont le titre alcalimétrique ou titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC).

Le TA ne mesure que les ions OH^- et la moitié des ions CO_3^{2-} . Lorsque le pH de l'eau est inférieur à 8,3; le TA est nul, et l'eau ne contient que du bicarbonate. Le TAC peut inclure les ions OH^- , CO_3^{2-} et HCO_3^- .

a) Principe

Cette détermination est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral (HCl), dilué en présence d'un indicateur coloré (Rodier 2009).

b) Réactifs

- Acide chlorhydrique 0,02 N.
- Indicateur coloré :
 - Solution de phénolphtaléine dans l'alcool à 0,5 %, qui vire à pH 8,3 mesure le TA
 - Solution de méthylorange à 0,5 %, qui vire à pH 4,5 mesure TAC.

c) Mode opératoire

– Titre Alcalimétrique simple (TA)

Après le prélèvement de 100 mL d'eau à analyser dans un erlenmeyer, on ajout 02 à 03 gouttes de phénolphtaléine. Une coloration rose doit alors apparaître; dans le contraire le TA est nul, ce qui se produit en général pour les eaux naturelles dont le pH < 8,3.

On verse ensuite doucement le HCl à l'aide d'une burette, en agitant constamment et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution (pH=8,3). On note V_{TA} le volume versé

– Titre Alcalimétrique Complet (TAC)

Après le prélèvement de 100 mL d'eau à analyser dans un erlenmeyer, on ajout 02 gouttes de méthylorange. Puis on titre par l'acide chlorhydrique 0,02 N jusqu'au virage rouge orange (pH=4). On note V_{TAC} le volume versé.

On retranche 0,5 mL, quantité d'acide nécessaire pour le virage de l'indicateur, qui est un peu plus faible que le pH de neutralisation exacte de l'hydrogencarbonate.

d) Expression des résultats

– Pour TA

$$TA (^{\circ}F) = V_{TA}(mL) \quad (III.3)$$

– Pour TAC

$$TAC (^{\circ}F) = V'_{TAC}(mL) - 0,5 \quad (III.4)$$

– Pour le bicarbonate

Le virage du méthyle orange se produit dès que le $pH < 4,4$; c'est-à-dire dès qu'il apparaît un excès d'acide fort dans le milieu, on mesure donc la somme des ions OH^{-} , CO_3^{2-} et des HCO_3^{-} ; cette détermination correspond au TAC.

$$(HCO_3^{-})mg/L = TAC (^{\circ}F) \times N \times M_{(HCO_3^{-})}/PE \quad (III.5)$$

N : Normalité de l'acide versé. (0,02 N)

$M_{(HCO_3^{-})}$: Masse molaire de bicarbonate (HCO_3^{-}) (61 g/mol)

PE: Prise d'essai. (Volume en L de l'échantillon nécessaire pour ce dosage (0,1 L) (Rodier 2009).

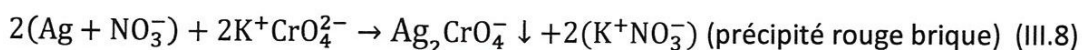
e) Expression des résultats

$$(HCO_3^{-})mg/L = TAC (^{\circ}F) \times 12,2 \quad , \quad 1^{\circ}F = 10 \text{ mg/L} \quad (III.6)$$

III.3.2.3 Chlorures (Cl^{-})**a) Principe**

Les ions chlorures réagissent avec les ions argent pour former un précipité blanc de chlorure d'argent. L'indicateur de fin de réaction est le chromate de potassium K_2CrO_4 qui donne avec l'excès d'ions argent, en milieu neutre, un précipité rouge brique de chromate d'argent . On peut considérer avec une très bonne précision, que le précipité de chromate d'argent commence à apparaître uniquement lorsque les ions chlorure ont réagi.

Les réactions mises en jeu dans ce dosage sont :

**b) Réactifs**

- Solution de chromate de potassium à 10 %.
- Solution de nitrate d'argent 0,1 N.

c) Mode opératoire

On suit les étapes ci-dessous (Rodier 2009) :

- On Introduit un volume de 25 mL d'eau à analyser dans un erlenmeyer ;
- On Ajoute 02 à 03 gouttes de solution de chromate de potassium K_2CrO_4 ;
- On titre à l'aide de la solution de nitrate d'argent (0,1 N) jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 minutes.

d) Expression des résultats

$$\text{Teneur en chlorures (Cl}^{-}\text{)}(\text{mg/L}) = V_{AgNO_3} \times N_{AgNO_3} \times (M_{Cl}/PE) \quad (\text{III.9})$$

alors,

$$\text{Teneur en chlorures (Cl}^{-}\text{)}(\text{mg/L}) = V_{AgNO_3} \times 142 \quad (\text{III.10})$$

V_{AgNO_3} : Volume de la solution des nitrates d'argent.

N_{AgNO_3} : Normalité de la solution des nitrates d'argent (0,1 N).

M_{Cl} : Masse molaire du chlore (35,5 g/mol).

PE : Prise d'essai (volume en litre de l'échantillon nécessaire pour ce dosage (0,025 L)).

III.3.2.4 SULFATES (SO_4^{2-})**a) Principe**

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum.

Les suspensions homogènes sont mesurées au spectromètre.

**b) Réactifs**

- **Solution mère de sulfates de sodium à 1000 mg/L** : On pèse 1,47 g de Na_2SO_4 pour 1 L d'eau distillée.
- **Solution stabilisante** :
 - 60 mL d'acide chlorhydrique ;
 - 200 mL d'éthanol ;
 - 150 g du chlorure de sodium ;
 - Eau distillée q.s.p 1000 mL.
- **Solution de chlorure de baryum** :
 - 150 g du chlorure de baryum ;
 - 5 mL d'acide chlorhydrique ;
 - Eau distillée q.s.p 1000 mL.

c) Matériel

L'instrument de mesure utilisé est un spectrophotomètre de marque PhotoLab Spektral- WTW, Fig III.9.



Fig III. 8. PhotoLab Spektral- WTW

d) Etablissement de la courbe d'étalonnage

Tableau III. 3 – Solutions étalons pour SO_4^{2-}

Numéro des fioles	T	I	II	III	IV
Solution mère à 1g/L	0	1	2	3	5
Q.S.P (mL)	100	100	100	100	100
Solution stabilisante (mL)	5	5	5	5	5
Solution de chlorure de baryum (mL)	2	2	2	2	2
Agitation pendant 1 minute					
Correspondance en mg/L de SO_4^{2-}	0	10	20	30	50

L'enregistrement de la gamme dans le spectrophotomètre est à la longueur d'onde $\lambda = 420$ nm.

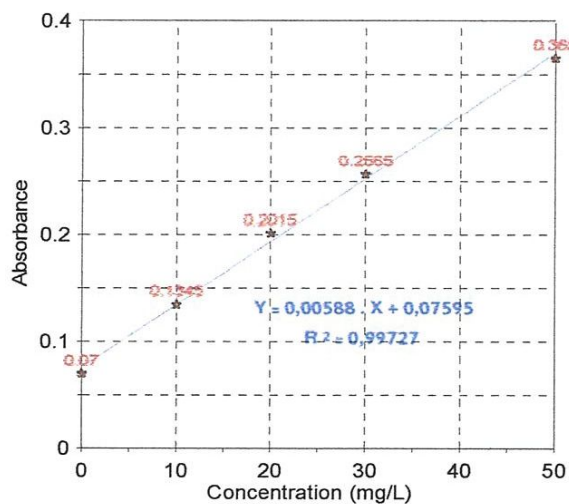


Fig III. 9. La Courbe d'étalonnage des sulfates

e) Mode opératoire

On prend 20 mL d'eau à analyser puis on complète à 100 mL d'eau distillée. On ajoute 5 mL de la solution stabilisante, et 2 mL de chlorure de baryum ; on agite énergiquement pendant 1 min. Enfin, on lit l'absorbance au spectrophotomètre à $\lambda = 420$ nm (Rodier 2009).

f) Expression des résultats

La courbe donne directement la teneur des sulfates exprimée en milligramme de SO_4^{2-} par litre d'eau.

III.3.3 Cations alcalinoterreux**III.3.3.1 Ions calcium Ca^{2+}** **a) Principe**

On utilise comme solution titrante, une solution d'acide Ethylène Diammine Tétracétique (EDTA). Ce titrage se fait en présence d'indicateur coloré de fin de réaction et d'une solution tampon permettant de maintenir le pH de la solution entre 9 et 10 (Rodier 2009).

b) Réactifs

- Murexide.
- Solution d'EDTA (0,02N).
- Solution de NaOH (2 N).

c) Mode opératoire

On introduit 50 mL d'eau à analyser dans un erlenmeyer. On ajoute ensuite 2 mL de solution de NaOH et quelques grains de Murexide. La solution doit se colorer en rose. On titre immédiatement avec l'EDTA jusqu'au virage du rose au violet. On note V_{EDTA1} , le volume qui a permis le virage de couleur.

d) Expression des résultats

La détermination de la quantité de calcium (mg/L) est donnée par la formule suivante :

$$\text{Ca}^{2+} \text{ (mg/L)} = V_{\text{EDTA1}} \times C_{\text{EDTA}} \times M_{\text{Ca}^{2+}}/\text{PE} \quad (\text{III. 12})$$

alors,

$$\text{Ca}^{2+} \text{ (mg/L)} = V_{\text{EDTA1}} \times 8.16 \quad (\text{III. 13})$$

C_{EDTA} : Concentration molaire d'EDTA (0,02N).

$M_{Ca^{2+}}$: Masse molaire du calcium (40,08 g/mol).

PE : Prise d'essai (0,05 L).

III.3.3.2 Ion magnésium Mg^{2+}

a) Principe

On fait un titrage molaire des Ca^{2+} et Mg^{2+} avec une solution de sel disodique de EDTA à pH 10. Le noir érichrome T, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des Ca^{2+} et Mg^{2+} , est utilisé comme indicateur (MEROUANI 2013).

b) Réactifs

- Noir érichrome T (N.E.T).
- Solution d'EDTA (0,02N).
- Solution de NH_4OH concentré.

c) Mode opératoire

Pour 50 mL d'eau à analyser, on va ajouter de 2 mL de solution NH_4OH et quelques grains d'indicateur coloré (N.E.T). La solution doit se colorer en rose. On titre immédiatement avec l'EDTA jusqu'au virage du rose au bleu. On note V_{EDTA2} , le volume qui a permis le virage de couleur.

d) Expression des résultats

La détermination de la concentration en ions magnésium (mg/L) est donnée par la formule suivante :

$$Mg^{2+}(\text{mg/L}) = (V_{EDTA2} - V_{EDTA1}) \times C_{EDTA} \times M_{Mg^{2+}}/PE \quad (\text{III. 14})$$

alors,

$$Mg^{2+}(\text{mg/L}) = (V_{EDTA2} - V_{EDTA1}) \times 4,8 \quad (\text{III.15})$$

C_{EDTA} : Concentration molaire d'EDTA (0,02 N).

$M_{Mg^{2+}}$: Masse molaire du magnésium (24 g/mol).

PE : Prise d'essai (0,05 L).

III.3.3.3 Cations alcalins (ion de sodium Na^+ et potassium K^+)

a) Principe

La photométrie à flamme repose sur le fait que les composés des métaux alcalins et alcalino-terreux peuvent être dissociés thermiquement dans une flamme et que la plupart des atomes produits sont excités à un haut niveau d'énergie. Lorsque ces atomes

retournent à l'état initial, ils émettent des radiations dans le spectre visible. Chaque atome émet une radiation à une longueur d'onde spécifique de cet élément (jenway PFP7) .

b) Matériel

L'appareil utilisé est un photomètre à flamme d'émission de marque PFP7 à lecture digitale directe, (Fig III.11).



Fig III. 11. Photomètre à flamme PFP

c) Réactifs

– Solution étalon chlorure de sodium

0,634 g de chlorure de sodium NaCl de qualité analytique a été pesé, puis dissout avec l'eau distillé dans une fiole jaugée de 500 mL.

– Solution étalon chlorure de potassium

Nous avons opéré de la même façon qui pour le sodium en utilisant 0,477 g de chlorure de potassium KCl au lieu de NaCl.

d) Mode opératoire

Les instructions du constructeur ont été suivies pour la mise en œuvre de l'appareil : le détail des opérations de démarrage (débits de gaz et conditions de flamme), la stabilisation de l'appareillage, les conditions de mesure, de rinçage (système aspiration/nébulisation) et arrêt (jenway PFP7).

Le dosage des éléments Na⁺ et K⁺ se fait comme suit :

- La sélection de la longueur d'onde propre à l'élément (589 nm pour le sodium et 766 nm pour le potassium) ;
- Ajustement de la largeur de fente et de la gamme de sensibilité ;
- Réglage des pressions et des débits des gaz ;
- Mesure les intensités d'émission en aspirant les différents étalons suivis des échantillons.

REMARQUES

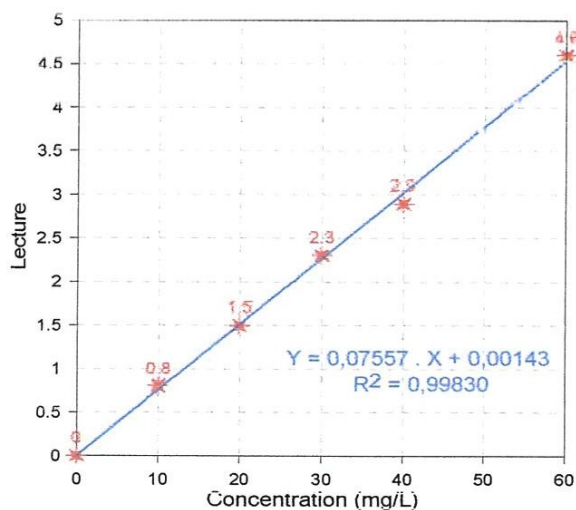
Si l'échantillon contient des matières en suspension, un filtrage est nécessaire pour éviter l'encrassement capillaire et du brûleur.

Pour le stockage des solutions :

- On évite la lumière.
- Les solutions sont gardées à une température à 25 °C.
- Les flacons en verre sont à éviter.

e) Etablissement des courbes d'étalonnage**1) Elément Sodium****Tableau III. 4 – Préparation des solutions étalons pour le dosage du sodium**

Numéro des fioles	T	I	II	III	IV	V
Solution étalon de Na ⁺ à 500mg/L	0	2	4	6	8	12
Eau distillée (mL) q.s.p	100	100	100	100	100	100
Correspondance on (mg/L) de Na ⁺	0	10	20	30	40	60

**Fig III. 12. Courbe d'étalonnage de l'élément sodium****2) Elément Potassium****Tableau III. 5 – Préparation des solutions étalons pour le dosage du potassium**

Numéro des fioles	T	I	II	III	IV
Solution étalon de K ⁺ à 500 mg/L	0	1	2	3	4
Eau distillée (ml) q.s.p	100	100	100	100	100
Correspondance en (mg/L) de K ⁺	0	5	10	15	20

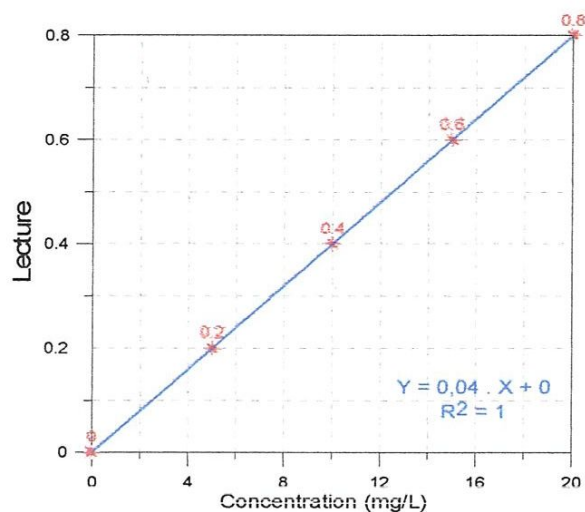


Fig III. 13. Courbe d'étalonnage de l'élément potassium

t) Expression des résultats

La courbe donne directement les teneurs de sodium et de potassium exprimée en milligramme de chaque ion Na^+ et K^+ par litre d'eau.

III.4 Substances indésirables

III.4.1 Substances azotées

III.4.1.1 Nitrates NO_3^-

a) Principe

La méthode au salicylate de sodium permet le dosage des nitrates. Ces derniers donnent du paranitrosouylate de sodium coloré en jaune susceptible qui est un dosage colorimétrique (Rodier 2009).

b) Matériel

L'instrument de mesure utilisé est le même spectrophotomètre utilisé pour le dosage des sulfates, (Fig III.9).

c) Réactifs

- Solution de salicylate de sodium à 0,5 % (à renouveler tous les 24 h).
- Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 30 %.
- Acide sulfurique (H_2SO_4) concentré.
- Solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium, préparé comme suit : On pèse 400 g de NaOH et 60 g de tartrate double de sodium et

de potassium pour 1 L d'eau distillée et on Laisse refroidir avant de compléter à 1 L. La solution est conservée dans un flacon de polyéthylène.

- Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000 mg/L. On pèse 0,722 g de KNO_3 pour 1 L d'eau distillée, on ajoute 1 mL de chloroforme.
- Solution fille d'azote nitrique à 0,005 mg/L. On prélève 1mL de la solution mère qu'on amène à 50 mL d'eau distillée.

d) Etablissement de la courbe d'étalonnage

Tableau III. 6 – Préparation des solutions étalons pour NO_3^-

Numéro de standard	T	I	II	III	IV
Solution fille d'azote nitrique (0,005 mg/L (mL))	0	1	2	5	10
Eau distillée (mL)	10	9	8	5	0
Solution de salicylate de Na (mL)	1	1	1	1	1
Correspondance en mg/L d'azote nitrique	0	0,5	1	2,5	5

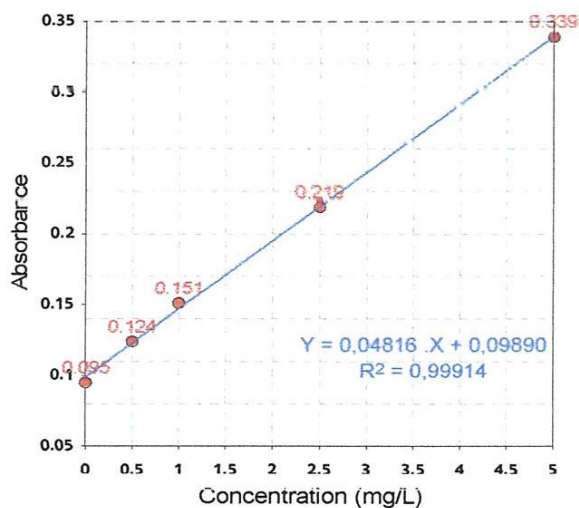


Fig III.13. Courbe d'étalonnage des nitrates

e) Mode opératoire

- On prend 10 mL de l'échantillon à analyser. Puis on ajoute 02 à 03 gouttes de NaOH à 30 % et 1mL de salicylate de sodium.
- On évapore à sec au bain marie ou à l'étuve 75-88 °C. (Ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) et on laisse refroidir.
- Dans une deuxième étape, on reprend le résidu avec 2 mL H_2SO_4 on laisse reposer 10 min.

- Puis on ajoute 15 mL d'eau distillée et 15 mL de la solution d'Hydroxyde de sodium et le tartrate double de sodium et de potassium qui développe la couleur jaune.
- Enfin, la solution est dosée au spectrophotomètre à 415 nm.

f) Expression des résultats

En se référant à la courbe d'étalonnage, on exprime les concentrations des NO_3^- des échantillons en milligramme par litre d'eau.

III.4.1.2 NITRITES (NO_2^-)

a) Principe

Dans une solution acide, les ions nitrites forment avec l'acide sulfanilique un sel de diazonium qui réagit avec le N-(naphtyl-1)-éthylènediamine dihydrochlorure pour donner un colorant azoïque rouge violet. Ce colorant est dosé par photométrie.

b) Réactifs et mode opératoire

Le dosage des nitrites a été réalisé en utilisant des réactifs en kit spéciaux. Ainsi, il suffisait de suivre les instructions sur la notice du kit modèle "14776/1" fourni par WTW .

En résumé :

- 5 mL de l'échantillon sont introduits dans une éprouvette ;
- 1 micro cuillère du réactif codé ($\text{NO}_2^- - 1$) est ajoutée;
- L'éprouvette est fermée et agitée vigoureusement pour dissoudre la substance solide ;
- On vérifie le pH de l'échantillon domaine théorique pH 0 –10, Si nécessaire, on ajuste le pH en ajoutant goutte à goutte du NaOH en solution ou H_2SO_4 dilués ;
- On attend le temps de réaction : 10 minutes ;
- On place la solution dans la cuve du spectrophotomètre;
- Le dosage s'effectue automatiquement à 543 nm,
- Le domaine de mesure est : 0,02 – 1,00 mg/L.

c) Expression des résultats

Les concentrations des nitrites des échantillons sont affichées directement sur l'écran de spectromètre.

III.4.1.3 L'Ammonium (NH_4^+)

a) Principe

On utilise le dosage colorimétrique. L'azote ammoniacal ($\text{NH}_4\text{-N}$) se présente en partie sous la forme d'ions ammonium et en partie sous la forme d'ammoniaque. Il existe un équilibre pH-dépendant entre ces deux formes.

Dans une solution fortement alcaline ne contenant pratiquement que de l'ammoniaque, ce dernier réagit avec un agent de chloration pour donner de la monochloramine.

b) Réactifs

Comme dans le cas des nitrites, nous avons utilisé des réactifs en kit libellé sous modèle "14752/1" et fourni par WTW.

c) Mode opératoire

- On introduit 5 mL de l'échantillon à analyser dans une éprouvette;
- On ajoute 0,6 ml de réactif codé $\text{NH}_4\text{-1}$ et on mélange ;
- On Ajoute une micro cuillère de réactif codé $\text{NH}_4\text{-2}$;
- On Agite vigoureusement le tube pour dissoudre la substance solide ;
- Le temps de réaction : 5 minutes ;
- On Ajoute 4 goutte de réactif codé $\text{NH}_4\text{-3}$ puis on mélange ;
- On attend le temps de réaction : 5 minutes ;
- On procède au dosage automatiquement à une longueur d'onde 655 nm,
- Le domaine de mesure est : 0,05–3,00 mg/L.

d) Expression des résultats

La concentration de NH_4^+ des échantillons s'affiche directement sur le spectromètre en milligramme par litre d'eau.

III.4.2 Phosphates

a) Principe

Dans une solution sulfurique les ions orthophosphates forment avec les ions molybdates l'acide phosphomolybdique. Celui-ci est réduit par l'acide ascorbique en bleu de phosphomolybdène.

b) Réactifs

Comme dans le cas des nitrites et l'ammonium, nous avons utilisé des réactifs en kit libellé sous modèle "14848/1" et fourni par WTW

c) Mode opératoire

- On Vérifie le pH de l'échantillon. domaine théorique pH 0 –10, Si nécessaire on ajuste le pH en ajoutant goutte à goutte du NaOH en solution ou H₂SO₄ dilués ;
- On introduit 5 mL de l'échantillon à analyser dans une éprouvette;
- On ajoute 5 goutte de réactif codé PO₄-1 puis on mélanger ;
- On ajoute une micro cuillère de réactif codé PO₄-2;
- On agite vigoureusement le tube pour dissoudre la substance solide ;
- On attend le temps de réaction : 5 minutes ;
- On place la solution dans la cuve dans le spectrophotomètre;
- Le dosage s'effectue automatiquement à 880 nm ;
- Domain de mesure : 0,05–5,00 mg/L.

d) Expression des résultats

La concentration de PO₄ des échantillons s'affiche directement sur le spectromètre en milligramme par litre d'eau.

III.4.2.1 Fer**a) Principe**

L'addition d'une solution de phénanthroline-1,10 à une prise d'essai contenant des cations de fer permet de la colorer en rouge orange et mesurage par photométrie à une longueur d'onde de 510 nm. Pour le dosage du fer total et du fer total dissous, du chlorhydrate d'hydroxylamine est ajouté pour réduire le Fe³⁺ en Fe²⁺ (Rodier 2009).

a) Matériel

On fait les mesures avec le même spectrophotomètre utilisé dans le cas du dosage des Sulfates

b) Réactifs

Tous les réactifs seront préparés à partir d'eau distillée exempte de toute trace de fer.

- **Tampon acétate :**
 - 40 g d'acétate d'ammonium ;

- 50 mL d'acide acétique cristallisable ;
 - Eau distillée q.s.p 100 mL.
- Chlorhydrate d'hydroxylamine à 10 % :
- Cette solution est stable pendant une semaine.

– Solution de phénanthroline -1,10 :

On dissout 0,42 g de phénanthroline-1,10 monohydraté dans 100 mL d'eau distillée contenant 02 gouttes de HCl. Cette solution est stable pendant une semaine. Elle est à conserver dans un flacon teinté et au réfrigérateur.

– Solution mère étalon de fer à 1000 mg/L :

- Solution fille de fer à 10 mg/L (à préparer extemporanément).

c) Etablissement de la courbe d'étalonnage

Tableau III. 7 – préparation des solutions étalons pour le dosage du Fer

Numéros de tubes	T	I	IV	VI
Solution fille de fer à 10 mg/L (mL)	0	0,25	2,0	5,0
Eau distillée (mL)	50	49,75	48,0	45,0
Solution de Chlorhydrate d'hydroxylamine (mL)	1	1	1	1
Tampon acétate (mL)	2	2	2	2
Solution de phénanthroline -1,10 (mL)	2	2	2	2
Correspondance de fer en mg/L	0	0,05	0,4	1,0

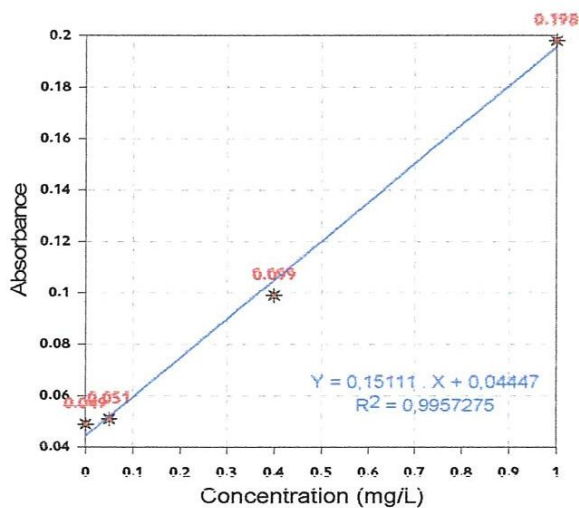


Fig III. 14. Courbe d'étalonnage du Fer

d) Mode opératoire

À 50 mL d'eau à analyser, on ajoute 1 mL de la solution de chlorhydrate d'hydroxylamine ; puis on mélange soigneusement. On ajoute en suite 2mL de tampon acétate, et 2 mL de la solution de phénanthroline 1–10. Cette solution est conservée à l'obscurité pendant 15 min. L'échantillon est passé au spectrophotomètre pour mesurage à la longueur d'onde de 510 nm.

e) Expression des résultats

On exprime les concentrations de fer des échantillons en milligramme par litre d'eau.

III.5 Métaux lourds

Dans notre étude, huit métaux ont été étudiées en l'occurrence : le Cuivre (Cu) , le Zinc (Zn), le Nickel (Ni), le Chrome (Cr), le Cadmium (Cd), l'Etain (Sn), le Palladium (Pd), et le Fer (Fe).

La méthode d'analyse utilisée pour le dosage de ces espèces métalliques est La spectrométrie d'absorption atomique. Cette technique est une des méthodes de référence pour le dosage des métaux dans les eaux, (elle peut servir à mesurer la concentration de plus de 60 d'éléments chimiques métaux et non-métaux en solution), n'a cessé d'évoluer dans le sens de l'accroissement de sa sensibilité et sa fiabilité (BENDADA 2011).

a) Principe

Lors du procédé d'absorption atomique une énergie fournie à l'atome provient d'une source lumineuse appelée lampe à cathode creuse. L'atome dans son état de base absorbe l'énergie lumineuse à une longueur d'onde spécifique et passe à un état d'excitation. Un détecteur mesure la quantité de lumière absorbée et un signal électronique est produit en fonction de l'intensité lumineuse. Ce signal est traité et la quantité d'analyte dans l'échantillon est déterminée en fonction de l'absorbance mesurée. Le contact entre les atomes et la source lumineuse est assuré par la cellule d'absorption. La cellule d'absorption est en fait une flamme générée par la combustion d'un mélange air/acétylène (2500 °C) ou un mélange protoxyde d'azote/acétylène (3100 °C) pour les éléments réfractaires (AAnalyst 200-400).

L'échantillon à analyser est aspiré par l'appareil et transformé en aérosol. La flamme atomise ensuite les éléments contenus dans l'aérosol qui passent à travers le faisceau de la lampe à cathode creuse.

La lampe à cathode creuse émet le spectre lumineux spécifique à l'élément analysé. La cathode et l'anode de la lampe sont composées uniquement de l'élément dont le spectre lumineux doit être produit. Un potentiel électrique est appliqué entre l'anode et la cathode, ce qui a pour effet d'ioniser le gaz contenu dans la lampe. Les ions de gaz vont ensuite entrer en collision avec la cathode, ce qui déloge des atomes métalliques. Ces atomes vont aussi entrer en collision avec les ions de gaz ce qui les fait passer à un état d'excitation. Ils retournent aussitôt à leur état de base ce qui produit l'énergie lumineuse désirée (AAAnalyst 200-400).

b) Matériel

- Appareil de filtration : centrifugeuse de marque Sigma compact centrifuge 2-5 (fig.III.15)
- Le dosage a été réalisé à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique AAAnalyst 400 de Perkin Elmer (fig.III.16).

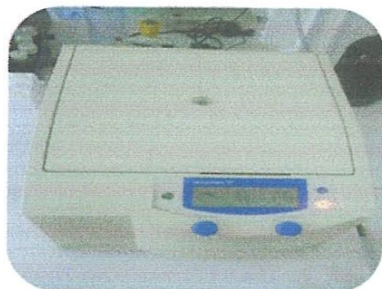


Fig III. 15. Centrifugeuse Sigma compact centrifuge 2-5



Fig III. 16. Spectrophotomètre d'absorption atomique AAAnalyst 400 de Perkin Elmer

c) Réactifs

- Acide nitrique concentré HNO₃ (65%);
- Solution standard commercial à 1,000 mg/L de chaque élément à doser (tableau III.8)

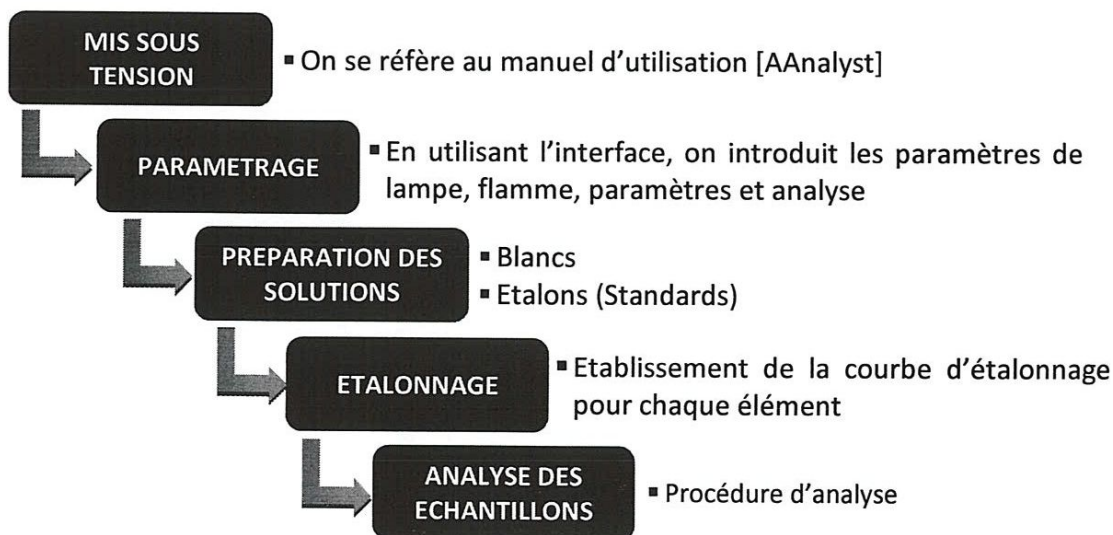
Tableau III. 8– Liste des solutions standard pour chaque élément (PerkinElmer standards)

Elément	Solution standard		
	Symbole	Matrice	Code
Cadmium	Cd	2% HNO ₃	N9300107
Chrome	Cr	2% HNO ₃	N9300112
Cuivre	Cu	2% HNO ₃	N9300114
Etain	Sn	20% HNO ₃	N9300161
Fer	Fe	2% HNO ₃	N9300126
Nickel	Ni	2% HNO ₃	N9300136
Palladium	Pd	10% HCl	N9300138
Zinc	Zn	2% HNO ₃	N9300168

d) ANALYSE

Une fois que le système a été mis sous tension et optimisé se référant au manuel d'utilisation (AAAnalyst 200-400), l'analyse des échantillons est simplement une question de paramètres à entrer, puis l'aspiration des solutions "blanc", standards et les échantillons.

Le schéma ci-dessous montre la séquence d'opérations que nous devons effectuer pour analyser des échantillons.

**Fig III. 16. La séquence d'opérations de l'analyse**

1) Préparation des solutions

- On prépare environ 200-250 mL de 1 % HNO₃ pour l'utiliser comme une solution de référence "blanc";
- Pour chaque élément à doser on prépare une gamme d'étalons (standard) à différentes concentrations (4 standard. L'AAAnalyst 400 a la capacité d'utiliser jusqu'à huit standards). Pour cela, on prépare environ 200 à 250 mL de chacun des 4 standard à 1 % HNO₃ de l'élément qu'on veut déterminer.

2) Etablissement de la courbe d'étalonnage

La séquence d'aspiration pour l'étalonnage linéaire est comme suit :

- On ajuste le carburant et le débit d'oxydant pour obtenir le type de flamme donnée dans les conditions recommandées ;

Le blanc est aspiré puis les standard

REMARQUES

- Chaque absorbance correspond à une concentration.
- Dès que les mesures sont effectuées, les résultats apparaissent sur l'écran d'analyse. On peut consulter la courbe d'étalonnage des analyses à tout moment.

En respectant la limite de la linéarité de la courbe d'étalonnage de chaque élément (fourni par le manuel d'utilisation de l'appareil) nous avons préparé des solutions standards différentes en précédant à des dilutions à partir de la solution commerciale à 1000 mg/L. Les solutions standards utilisées sont regroupés dans le tableau III.9.

Tableau III. 9 – Les conditions opératoires du spectrophotomètre pour chaque élément

Elément	Longueur d'onde λ (nm)	Flamme recommandé	Limite de linéarité (mg/L)	Solutions standard (mg/L)				Coefficient de corrélation
				I	II	III	IV	
Cuivre	324,8	Air Acétylène	5	1	2	4	5	0,99906
Zinc	213,9	Air Acétylène	1	0,25	0,5	0,7	1	0,99967
Chrome	357,9	Air Acétylène	5	1	2	4	--	0,97998
Fer	248,3	Air Acétylène	6	0.5	1	2	5	0,99698
Nickel	232,0	Air Acétylène	2	0.5	1	1.5	2	0,99676
Cadmium	228,8	Air Acétylène	2	0.5	1	1.5	2	0,98746
Etain	286,3	Air Acétylène	---	1	5	--	--	0,96429
Palladium	244,8	Air Acétylène	10	1	2	6	10	0,99080

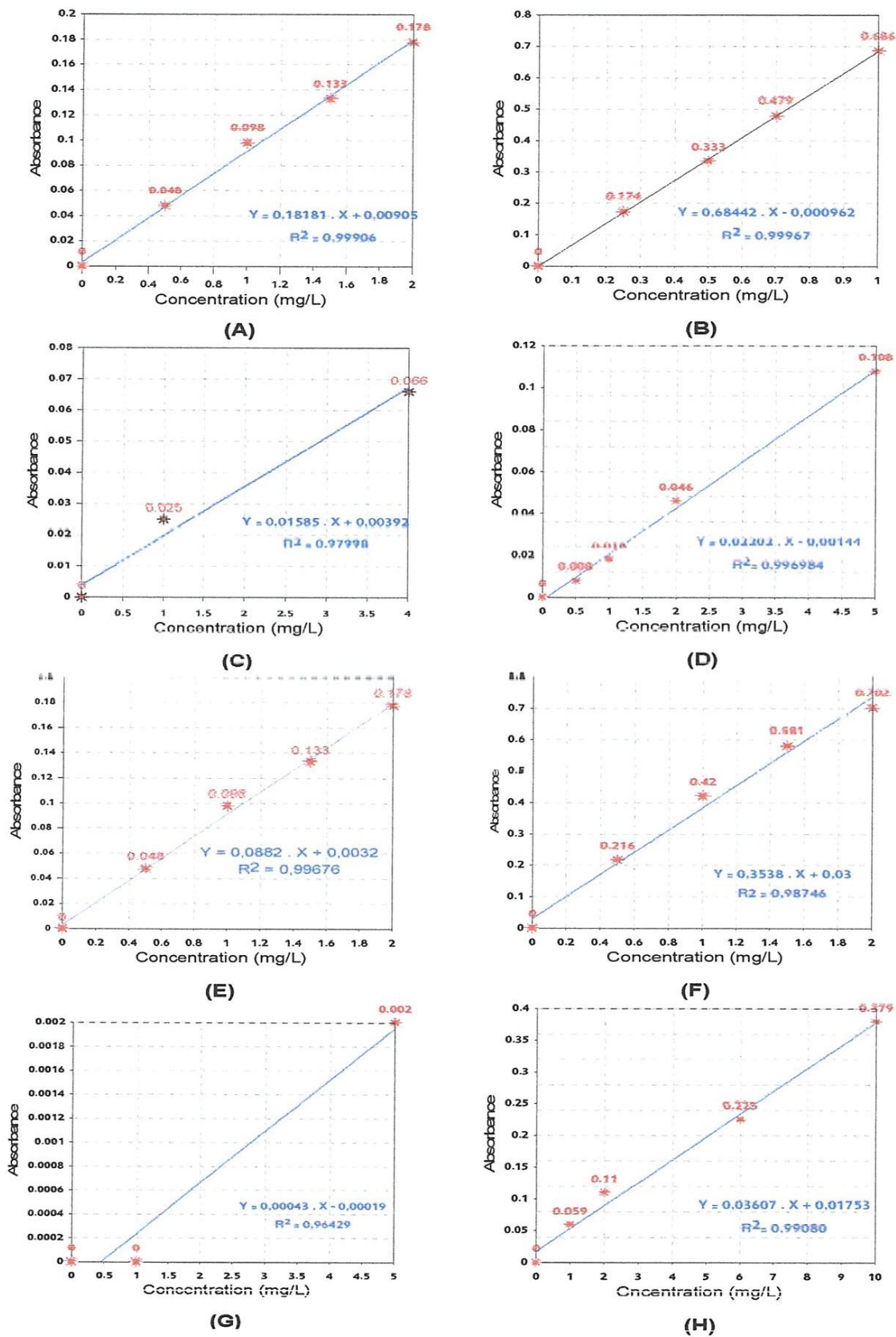


Fig III. 18. Courbes d'étalonnage des différents éléments, (A): Cu, (B): Zn, (C): Cr, (D): Fe, (E): N, (F): Cd, (G): Sn, (H): Pd

3) Analyse des échantillons

Pour effectuer l'analyse des échantillons, nous avons procédé comme suit (AAlyst 200-400) :

a) Analyse de la solution référence 1 % HNO₃ "blanc".

b) Analyse des solutions "standards "successivement :

L'appareil trace la courbe d'étalonnage et établie le coefficient de corrélation R^2 . Si le coefficient de corrélation est inférieur à 0,96 nous avons préparé d'autres solutions standards avec plus de précision afin d'augmenter la valeur de ce coefficient.

c) L'échantillon :

- Les échantillons, ont été analysés de manière successive et au besoin, nous avons lavé le conduit d'aspiration de l'appareil à l'eau distillée ou à l'acide nitrique à 1% entre deux échantillons.
- Chaque lecture d'absorbance correspond à une concentration qui est calculée en se référant à l'équation de la courbe d'étalonnage.

d) L'appareil affiche les résultats en mg/L du métal dosé.

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre et à travers notre travail au niveau du laboratoire nous avons vu les différents protocoles et techniques expérimentales d'analyse des différents paramètres qui déterminent la qualité de l'eau potable.

Nous avons vu comment mesurer les différents paramètres en relation avec la structure naturelle de l'eau. Les courbes d'étalonnage ont été établies pour les paramètres chimiques et également pour les métaux lourds. Ces derniers sont déterminés en utilisant la spectrométrie d'absorption atomique qui est considérée comme une des méthodes de référence.

CHAPITRE IV
RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1 Introduction

Après avoir détaillé le matériel utilisé et les modes opératoires suivis, nous présenterons dans cette partie, les résultats relatifs à l'analyse des différentes eaux concernées par notre travail. Pour rappel, les eaux de robinet des différentes cités de la ville de Guelma seront notées ERA, ERB, ERC, ERD1, ERD2, ERE1, ERE2, ERF1, ERF2, ERG1, ERG2, ERH et ERI et les eaux de sources seront notées S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9 et S10, pour plus de clarté. La légende détaillée de ces dénominations est regroupée dans les tableaux (III.1) et (III.2) du chapitre précédent.

IV.2 Résultats d'analyses des eaux de robinet

IV.2.1. Paramètres physiques des eaux de robinet

Le tableau IV.1 regroupe les paramètres en relation avec la structure naturelle des eaux de robinet de la ville de Guelma. On remarque qu'à l'exception de la turbidité, les différents paramètres respectent les normes en vigueur.

Le pH de l'eau mesuré à une température oscillant entre 11,3°C et 13 °C est compris dans l'intervalle 7,6 et 7,9. Bien que la valeur tabulée pour ce paramètre est donné pour une température de 25 °C, l'extrapolation de ces valeurs mesurées à 25 °C donneront des valeurs toujours incluses dans les normes requises.

La conductivité des eaux de robinet est également en dessous des normes. Pour la plupart des points de collecte, ce paramètre varie entre 539 et 744 sauf pour les eaux de robinet de la cité Emir Abdelkader; ERD1 et ERD2 (1103 et 1184 respectivement). Cette cité à l'exception des autres cités de la ville de Guelma est alimentée par les eaux de la station de traitement des eaux de Hammam Debagh mais également par une eau de forage (situé au niveau de Hélia) (Kouadri 2013). Les valeurs mesurées indiqueraient que ces deux eaux recueillies pourraient être celles de l'eau de forage ou un mélange entre les eaux de forage et l'eau de distribution municipale.

Les valeurs mesurées du résidu sec montre des valeurs en concordance avec celles de la conductivité.

Le titre alcalimétrique complet ne varie pas dans la plupart des cités de Guelma (la moyenne est 11,45) sauf dans le cas de la cité d'El Emir Abdelkader. La même explication peut être fournie dans le cas de la conductivité.

Les valeurs du TH indiquent que l'eau de robinet peut être qualifiée d'eau moyennement dure pour la plupart des cités guelmoises alors que celle de la cité Emir Abdelkader (ERD1 et ERD2) est très dure, fig IV.1.

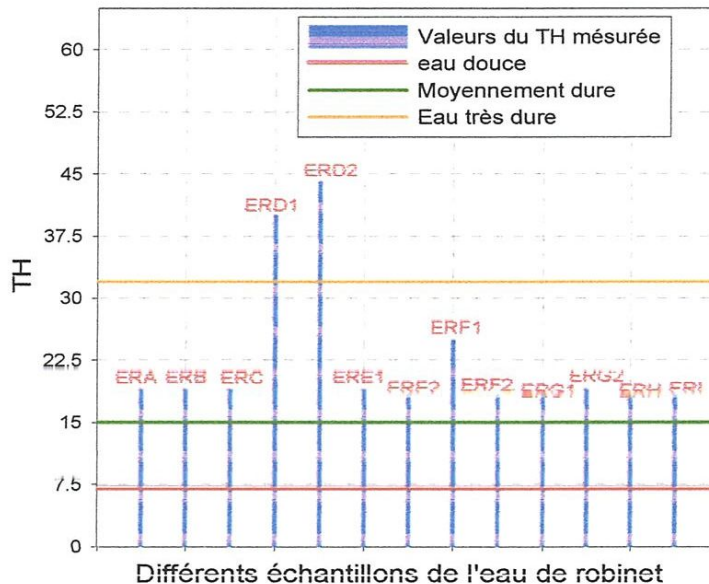


Fig IV. 1. Classification des eaux des robinets en fonction de leur dureté

La dureté totale d'une eau est la somme des ions de bicarbonates de calcium et de magnésium, sulfates de calcium et de magnésium et des chlorures de calcium et de magnésium, fig IV.2. Lorsqu'on élève la température d'une eau jusqu'à ébullition, les sels $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ et $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ deviennent des carbonates de calcium CaCO_3 et carbonates de magnésium MgCO_3 , respectivement et ces carbonates sont insolubles dans l'eau. Seuls persistent les ions sulfate SO_4^{2-} et les ions chlorure Cl^- de dureté permanente. la dureté des eaux de robinet est plus permanentes que temporaires. Le commentaire inverse peut être fait pour les eaux de robinets de la cité EAK.

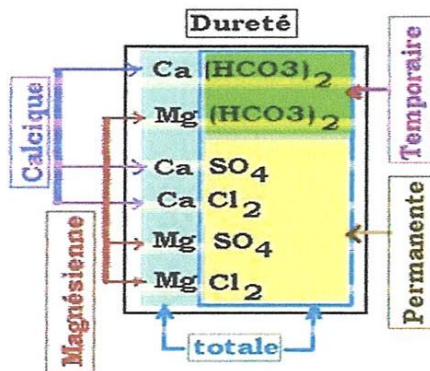


Fig IV. 2. Schéma représentant la répartition des différentes duretés de l'eau

La turbidité des eaux de robinet de la ville de Guelma est en général, au-dessus de la norme comme le montre la fig IV.2, ce qui a pour conséquence une eau visuellement opaque. La turbidité donne une indication directe de la quantité de matière en suspension présentes dans l'eau en amont de la station de traitement des eaux.

Ces matières en suspension sont habituellement éliminées au cours de l'étape de coagulation-floculation qui permet l'agglomération de ces matières en suspension en particules colloïdales qui décantent beaucoup plus facilement.

Les valeurs de la turbidité sont reliées à la fois aux conditions climatiques qu'aux méthodes de traitement de l'eau à la station de Hammam Debagh.

Il serait intéressant de faire remarquer que des calculs devraient être revus afin de mieux doser les coagulants-floculant utilisés au niveau de la station.

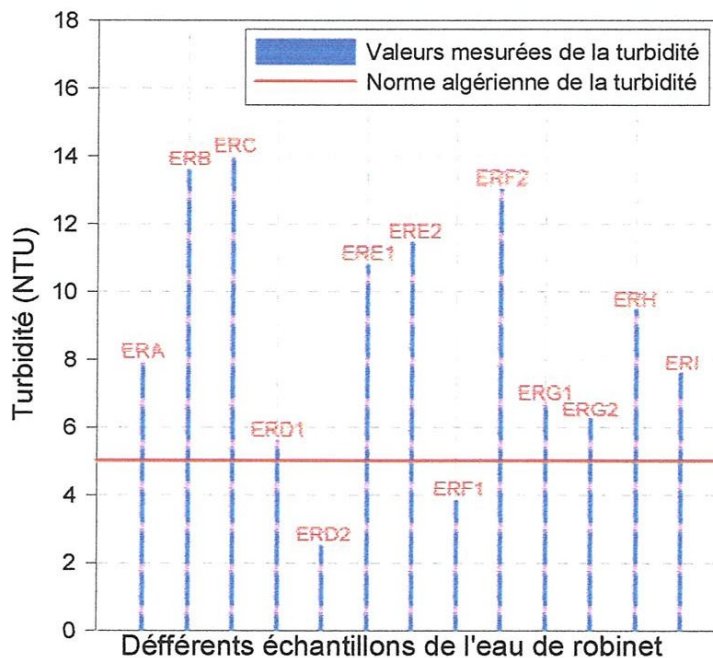


Fig IV. 3. Comparaison des valeurs de la turbidité des eaux des robinets des différents cités de la ville de Guelma avec la norme Algérienne

Tableau IV. 1–Les valeurs mesurées des différents paramètres en relation avec la structure naturelle des eaux de robinet de la ville de Guelma

Origine de l'eau	pH	T (°C)	Conductivité (µS/cm)	Résidu sec (mg/l)	Salinité (sal)	Turbidité (NTU)	TA	TAC	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	TH	Dureté permanente	Dureté temporaire
ERA	7,6	12,3	547	544	0,0	7,93	00	11,5	146,4	19	10	9
ERB	7,8	12,8	543	542	0,0	13,58	00	11,6	147,62	19	10	9
ERC	7,9	11,3	547	547	0,0	13,96	00	10,7	136,64	19	11	8
ERD1	7,7	12,1	1103	1103	0,3	5,63	00	22,6	281,82	40	19	21
ERD2	7,7	12,7	1184	1189	0,4	2,51	00	24,2	301,34	44	20	24
ERE1	7,7	12,2	555	554	0,0	10,79	00	10,7	136,64	19	11	8
ERE2	7,6	12,2	541	541	0,0	11,47	00	10,9	139,08	18	10	8
ERF1	7,8	12,7	744	740	0,1	3,85	00	15,2	191,54	25	14	11
ERF2	7,8	12,7	541	541	0,0	13,04	00	11,8	150,06	18	10	8
ERG1	7,5	13,0	568	564	0,0	6,76	00	10,7	136,64	18	12	6
ERG2	7,9	12,0	542	542	0,0	6,26	00	10,9	139,08	19	11	8
ERH	7,8	12,8	539	540	0,0	9,5	00	11,0	140,30	18	10	8
ERI	7,9	13,0	555	556	0,0	7,61	00	11,0	140,30	18	10	8
Norme Algérienne	6,5-9	25	2800	2000	--	5	--	--	--	500	--	--
Norme OMS	6,5-9,5	25	--	--	--	--	--	--	--	200	--	--

IV.2.2. Paramètres chimiques des eaux de robinet

Les valeurs des cations et anions présents dans l'eau de robinet des cités guelmoises sont dans les normes, tableau IV.2.

Pour chaque paramètre, nous pouvons dire qu'il y a une certaine constance dans les valeurs mesurées. Les quelques écarts sont dûs au fait que la collecte de l'eau de ces robinets-là a été effectuée à une date ultérieure qui peut aller jusqu'à 15 jours au paravent.

Tableau IV. 2– Valeurs mesurées des différents cations et anions dans l'eau de robinet de la ville de Guelma

Origine de l'eau	Cations et anions (en mg/l)									
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻
ERA	48,14	15,84	31,72	10	27,37	71	8,10	0,04	0,12	0,10
ERB	50,59	14,40	35,69	7,5	31,69	71	1,42	0,05	0,09	0,13
ERC	48,96	15,36	35,69	5	32,88	71	5,61	0,03	0,13	0,12
ERD1	132,19	18,24	56,85	2,5	33,64	99,4	1,30	0,03	0,14	0,13
ERD2	138,72	14,40	58,18	10	34,66	99,4	66,01	0,03	0,14	0,11
ERE1	48,14	16,80	37,01	5	32,20	71	7,68	0,03	0,08	0,23
ERE2	47,32	16,32	33,05	7,5	28,98	71	11,99	0,04	0,12	0,10
ERF1	57,12	25,92	46,27	7,5	25,42	99,4	3,04	0,04	0,08	0,06
ERF2	49,77	14,40	33,05	10	36,18	71	1,53	0,08	0,09	0,07
ERG1	62,01	8,64	37,01	10	32,54	85,2	1,47	0,03	0,09	0,06
ERG2	48,96	14,88	37,69	2,5	27,79	71	1,45	0,03	0,16	0,10
ERH	51,40	14,88	33,05	5	22,45	71	1,35	0,03	0,05	0,05
ERI	53,04	13,92	37,01	5	24,06	71	1	0,03	0,10	0,10
Norme Algérienne	200	150	200	12	400	500	50	0,2	0,5	5
Norme OMS	--	--	200	--	500	250	50	0,2	--	--

Une seule valeur du tableau dépasse largement les normes en vigueur l'eau de robinet distribuée au niveau de la cité Emir Abdelkader a une teneur de 66,01 mg/L en nitrates. Ce

qui peut être attribué, comme expliqué auparavant, au fait que l'eau du robinet de cette cité ait pour origine l'eau en provenance de la station de traitement des eaux de Hammam Debagh mais également une eau de forage au niveau de Hélià, fig IV.4. Il est probable que cette eau de forage soit chargée en nitrates du à sa situation (entourée de terres agricoles).

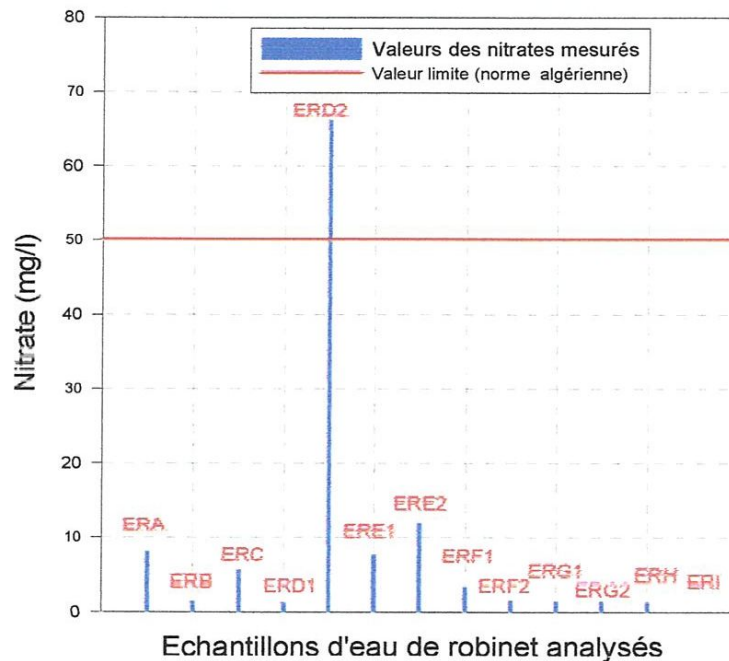


Fig IV. 4. Comparaison des valeurs mesurées des nitrates des eaux des robinets des différentes cités de la ville de Guelma avec la norme Algérienne

La méthémoglobinémie est causée par la capacité réduite du sang à transporter l'oxygène vital dans l'ensemble de l'organisme. Une des causes les plus courantes est la présence de nitrate. Dans l'organisme, les nitrates sont convertis en nitrites. Les nitrites réagissent avec l'hémoglobine dans les érythrocytes pour former la méthémoglobine, affectant la capacité du sang à transporter suffisamment d'oxygène jusqu'aux cellules de l'organisme.

Il est à noter que les analyses effectuées, il y a deux ans, au niveau de la même cité dans le cadre d'un mémoire de master a révélé que la teneur des nitrates est beaucoup plus élevée que les autres cités de Guelma nous recommandons de prendre des mesures adéquates afin de réduire la teneur des nitrates de ces eaux.

IV.2.3. Métaux lourds des eaux de robinet

Le tableau IV.3 donne les valeurs mesurées des différents métaux lourds dans l'eau de robinet de la ville de Guelma.

Tableau IV. 3– valeurs mesurées des différents métaux lourds dans l'eau de robinet de la ville de Guelma

Origine de l'eau	Métaux lourds (mg/l)								
	Cu	Zn	Cr	Fe ^I (¹)	Fe ^{II} (²)	Ni	Cd	Sn	Pd
ERA	00	0,010	0,137	0,079	0,316	00	0,007	1,343	0,058
ERB	00	0,101	0,115	0,175	00	00	00	1,785	00
ERC	00	0,157	0,007	0,059	0,050	00	0,001	0,522	00
ERD1	00	00	0,055	0,049	00	00	0,003	2,206	00
ERD2	00	0,066	0,015	0,023	00	00	0,001	1,934	00
ERE1	00	0,013	0,040	0,144	00	00	0,001	1,377	00
ERE2	00	0,007	0,190	0,023	00	00	0,002	1,099	00
ERF1	00	0,046	0,265	0,043	00	00	0,002	2,772	00
ERF2	00	0,113	0,233	0,294	0,304	00	0,002	2,388	00
ERG1	00	0,017	0,198	0,086	00	00	00	1,987	00
ERG2	00	0,010	0,012	0,079	0,002	00	0,003	1,571	0,003
ERH	00	0,067	0,211	0,109	00	00	00	4,248	00
ERI	0,146	0,297	0,248	0,069	00	00	0,001	5,374	00
Norme Algérienne	< 2	< 5	<0,050	<0,3	<0,3	<0,070	<0,003	--	--
Norme OMS	< 2	< 3	<0,050	--	--	<0,02	<0,003	--	--

D'après ce tableau plusieurs constatations peuvent être faites :

- Le cuivre, zinc et le nickel présentent des valeurs inférieures à la norme. en vigueur pour la législation algérienne et l'organisation mondiale de la santé.
- L'absorption atomique étant une méthode d'analyse plus fiable que la méthode colorimétrique du fait que le dosage se fait directement en comparaison avec la méthode colorimétrique qui nécessite quelques manipulations préalables au dosage, nous pouvons prendre en considération la première méthode.
- Ainsi les valeurs de l'élément fer sont en dessous des normes, fig IV.5.

⁽¹⁾ Fe^I est la concentration en fer total déterminée par absorption atomique selon le protocole décrit dans la III.5.

⁽²⁾ Fe^{II} est la concentration en fer total déterminée par la méthode colorimétrique décrite dans la section III.4.2.1.

- L'élément chrome affiche des valeurs qui oscillent entre 0,007 et 265 mg/L. Sur 13 échantillons analysés, 9 affichent des valeurs supérieures aux normes, fig IV.6.

Bien que le chrome soit un métal indispensable au métabolisme sous la forme trivalente, la forme hexavalente du chrome est très toxique et peut causer des maladies graves telles que le cancer, Tableau IV.4. D'après nos informations, l'eau distribuée à la ville de Guelma ne subit pas des analyses de métaux lourds. Alors que ces paramètres doivent être analysés selon la législation (le décret exécutif n° 14-96 du 04 mars 2014 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine qui fixe les limites ou seuils de qualité de l'eau.

- Pour le cadmium, des valeurs en dessus des normes ou à la limite des normes sont observées au niveau de trois cités, fig IV.5.
- Le cadmium, comme l'étain et le palladium ne sont pas des éléments essentiels.
- Nous n'avons pas trouvé de concentration limite dans les normes de potabilité relative à l'étain mais seulement une valeur guide de 5 µg/L. Les valeurs que nous avons trouvé pour cet élément, sont certainement sujettes à des erreurs car nous n'avons pas pu doser l'étain avec les conditions optimales (flamme alimentée par un mélange N₂O-acétylène).

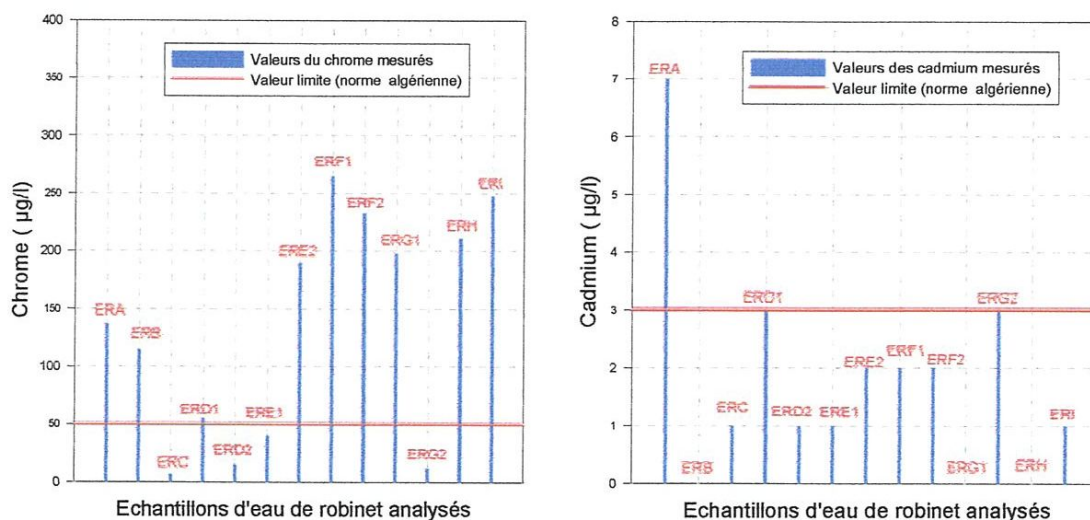


Fig IV. 5. Comparaison entre les valeurs mesurées de Cr: (à gauche) et de Cd: (à droite) des eaux de robinets de différentes cités de Gueima avec la norme Algérienne

Tableau IV. 4– Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement et leurs effets sur la santé

éléments	Effets sur la santé	Origine
Cuivre	<p>Une exposition au cuivre à long terme peut provoquer :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Irritation au nez, à la bouche et aux yeux – Maux de tête – Maux d'estomac – Vertiges 	<ul style="list-style-type: none"> – Agents de catalyse – Alliages et soudures – Biocides (pesticide, herbicides) – Carburants – Engrais – Pigments et peintures
Zinc	<ul style="list-style-type: none"> – Crampes d'estomac – Irritations de la peau – Vomissements – Anémie. 	<ul style="list-style-type: none"> – Alliages et soudures – Batteries et autres appareils électriques – Pigments et peintures
Chrome	<ul style="list-style-type: none"> – Problèmes respiratoires – Dommages au foie et aux reins – Cancer des poumons – Mort 	<ul style="list-style-type: none"> – Engrais – Pigments et peintures – Textiles
Fer	<p>Il peut causer des conjonctivites, des problèmes de rétines s'il est en contact et reste dans les tissu</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Carburants – Raffineries – Textiles – Pigments et peintures
Nickel	<ul style="list-style-type: none"> – Allergie de peau – Maladie respiratoire – Possible cancérigène 	<ul style="list-style-type: none"> – Alliages et soudures – Batteries et autres appareils électriques – Carburants – Engrais – Raffineries
Cadmium	<ul style="list-style-type: none"> – Hypertension – Dommages sur le foie – L'exposition chronique au cadmium a des conséquences sur l'appareil digestif, les poumons, mais aussi et surtout sur les reins. 	<ul style="list-style-type: none"> – Alliages et soudures – Batteries et autres appareils électriques – Carburants – Engrais – Matières plastiques – Pigments et peintures
Etain	<p>Les effets immédiats sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Maux de tête – Maux d'estomac – Nausées et vertiges, etc. <p>Les effets à long terme sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Dépressions – Dommages au foie 	<ul style="list-style-type: none"> – Agents de catalyse – Alliages et soudures – Biocides (pesticide, herbicides) – Matières plastiques – Pigments et peintures – Produits dentaires et cosmétiques – Verre
Palladium	<p>Peut causer des irritations de la peau, de l'œil ou de la région respiratoire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Convertisseurs catalytiques – Bijoux – Produits dentaires

IV.3 Résultats d'analyses des eaux de sources

IV.3.1. Paramètres physiques des eaux de sources

Le tableau IV.5 regroupe les paramètres en relation avec la structure naturelle des eaux de sources de Guelma. Le tableau comporte, également, des valeurs comparatives avec une eau minérale et une autre source de la région de Constantine. On remarque qu'à l'exception de la turbidité de deux eaux de sources; celles de Aïn Arbi et de Aïn Safra, qui dépassent les normes, tous les autres paramètres sont en dessous des normes de potabilité. On peut noter aussi que la conductivité oscille entre 230 et 1091 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec des valeurs supérieures pour les sources de Bekkouche Ahmed et Bendjerrah atteignant des valeurs plus de quatre fois celles de la plus petite valeur (Ain Safra).

Les eaux de sources sont, plus dures que l'eau de robinet et la dureté est plutôt temporaire. L'eau de Bendjerrah donne une valeur maximale de dureté. Cependant, les valeurs de la dureté permanente est aux alentours de celles de l'eau de robinet. L'eau minérale en bouteille, donne une eau très dure, contrairement à ce qui est connu au sein de la population. Les deux eaux de la source de Ain Safra, donnent une eau douce.

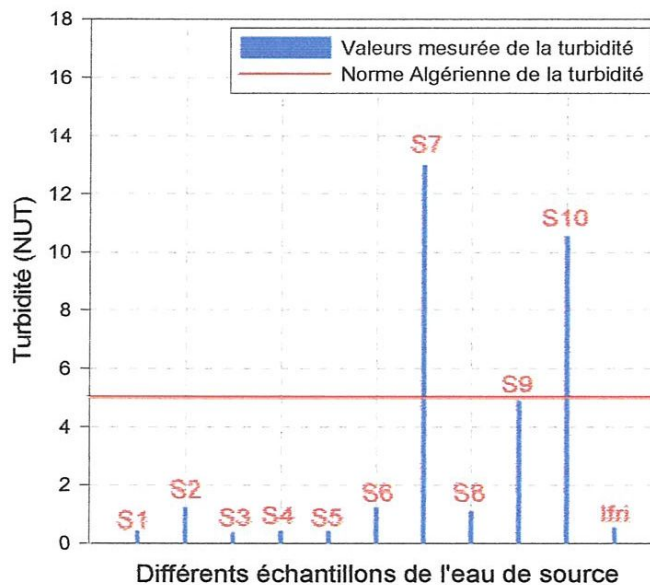


Fig IV. 6. Comparaison des valeurs de la turbidité des eaux des sources avec la norme Algérienne

Tableau IV. 5– Les valeurs Mesurées des différents paramètres en relation avec la structure naturelle des eaux des sources de la ville de Guelma

Origine de l'eau	pH	T (°C)	Conductivité (µS/cm)	Résidu sec (mg/l)	Salinité (sal)	Turbidité (NTU)	TA	TAC	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	TH	Dureté permanente	Dureté temporaire
S 1	7,8	12,9	588	585	00	0,41	00	24,0	298,90	31	9	22
S 2	7,6	13,1	1058	1048	0,3	1,22	00	32,3	400,16	44	21	23
S 3	7,1	13,0	1091	1088	0,3	0,36	00	21,9	273,28	50	24	26
S4	7,9	12,8	383	382	00	0,42	00	16,0	201,30	19	7	12
S 5	7,7	13,2	464	462	00	0,41	00	20,4	254,98	23	6	17
S 6	7,5	19,7	583	584	00	1,22	00	22,9	285,48	29	10	19
S 7	7,7	16,6	597	596	00	12,99	00	22,5	280,60	30	13	17
S 8	7,2	17,5	237	237	00	1,01	--	--	--	--	--	--
S 9	7,1	12,9	230	228	00	4,89	00	4,7	63,44	11	7	4
S 10	7,2	13,3	339	339	00	10,55	00	5,0	67,10	10	7	3
Ifri	7,6	13,0	821	819	0,2	0,54	00	24,2	301,34	41	13	28
Norme Algérienne	6,5-9	25	2800	2000	--	5	--	--	--	500	--	--
Norme OMS	6,5-9,5	25	--	--	--	--	--	--	--	200	--	--

IV.3.2. Paramètres chimiques des eaux des sources

On remarque, en premier lieu que contrairement aux eaux de robinet qui donnent des valeurs quasiment proches pour chaque paramètre, les eaux de sources donnent des valeurs très divergentes, pouvant aller jusqu'à 300 fois plus grandes (pour les nitrates, par exemple). L'explication est évidemment l'origine différente de chaque source avec la composition du milieu environnant, Tableau IV.6.

Tableau IV. 6—Les valeurs mesurées des différents paramètres chimiques des eaux des sources de la ville de Guelma

Origine de l'eau	Cations et Anions (en mg/l)									
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃	NO ₂	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻
S1	91,39	21,60	6,59	00	14,40	42,6	24,69	0,03	0,06	0,06
S2	127,29	55,20	31,72	2,5	38,64	106,5	0,12	0,03	0,05	0,05
S3	112,60	25,44	60,82	5	25,50	170,4	22,41	0,08	0,06	0,07
S4	60,38	12,00	6,59	2,5	17,45	28,4	9,91	0,04	0,07	0,09
S5	74,25	16,32	9,24	5	07,71	28,4	14,22	0,06	0,06	0,13
S6	91,39	17,28	11,88	2,5	10,59	42,6	26,04	0,02	0,10	0,05
S7	94,65	21,60	7,91	00	12,03	42,6	21,01	0,02	0,11	0,05
S8	--	--	13,20	00	016	--	16,19	0,03	0,13	0,05
S9	19,58	05,28	13,20	2,5	11,35	42,6	0,08	0,04	0,12	0,08
S10	25,29	30,24	22,46	5	10,84	71	13,71	0,07	0,23	0,05
Ifri	101,00	29,28	26,43	2,5	15,00	99,4	23,55	0,03	0,17	0,10
Norme Algérienne	200	150	200	12	400	500	50	0,2	0,5	5
OMS	--	--	200	--	500	250	50	0,2	--	--

En rapport avec les résultats relatifs au tableau précédent, la concentration en calcium et magnésium sont beaucoup plus grandes que dans les eaux de robinets. Ces deux éléments ne sont pas nocifs pour la santé humaine mais plutôt confère à l'eau un goût particulier. D'un autre côté, le problème avec ces derniers est l'entartrage des conduites et chaudières. Etant donné que ces eaux de sources ne

sont utilisées par la population que pour la boisson, les teneurs en Calcium et Magnésium ne sont pas du tout gênantes.

Les sources S1 et S6 donnent les plus grandes valeurs des nitrates. Comme expliqué, précédemment, ceci est dû à la nature de la région (à vocation agricole) d'où ont été recueillies ces eaux. Il est à noter que géographiquement parlant, ces deux sources sont très proches. Cependant ces valeurs sont très proches de celle de l'eau minérale en bouteille.

IV.3.1. Dosage des métaux lourds des eaux de sources

Le tableau IV.7 donne les valeurs mesurées des différents métaux lourds dans l'eau de sources de Guelma.

Tableau IV. 7–Les valeurs Mesurées des différents métaux lourds dans l'eau de sources de la ville de Guelma

Origine de l'eau	Métaux lourds (mg/l)								
	Cu	Zn	Cr	Fe ^(II)	Fe ^(III)	Ni	Cd	Sn	Pd
S 1	00	0,016	0,084	0,040	00	00	0,002	5,617	00
S 2	00	0,045	0,263	0,048	00	00	0,002	5,616	00
S 3	00	0,027	0,246	0,045	00	00	0,002	5,016	00
S4	00	0,019	0,101	0,034	00	00	0,001	4,624	00
S 5	00	0,036	0,090	0,037	00	00	0,002	4,013	00
S 6	00	0,026	0,249	0,078	00	00	0,000	4,759	00
S 7	00	0,023	0,310	0,066	00	00	0,001	4,946	00
S 8	00	0,037	0,072	0,054	00	00	00	3,733	00
S 9	00	0,031	0,083	0,184	0,473	00	00	2,102	00
S 10	00	00	0,139	0,111	00	00	00	2,024	00
Ifri	00	0,032	0,047	0,045	00	00	0,002	3,521	00
Norme Algérienne	< 2	< 5	<0,05	<0,3	<0,3	<0,07	<0,003	--	<3
OMS	< 2	< 3	<0,050	--	--	<0,02	<0,003	--	--

D'après ce tableau plusieurs constatations peuvent être faites :

- Comme dans le cas des eaux de robinet, les teneurs en cuivre, nickel et palladium sont nulles alors que les teneurs en zinc, fer et cadmium sont en dessous de la norme.

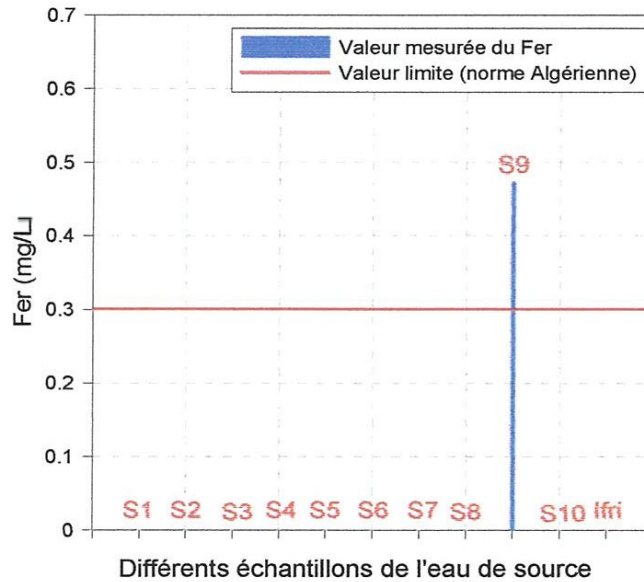


Fig IV. 7. Comparaison entre les valeurs mesurées du fer des eaux de sources avec la norme Algérienne

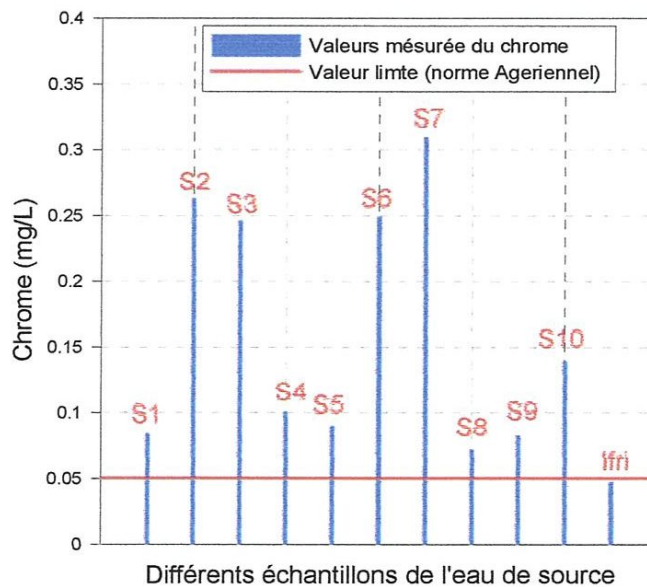


Fig IV. 8. Comparaison entre les valeurs mesurées du chrome des eaux de source avec la norme Algérienne

- L'élément chrome affiche des valeurs qui oscillent entre 83 et 310 µg/L alors que dans l'eau de robinet ces valeurs sont généralement, plus petites; 7 et 265 µg/L. La norme étant de 50 µg/L, on peut dire que toutes les eaux de sources ont une teneur en chrome supérieure à la norme alors que l'eau minérale est juste en dessous de la norme, Fig IV.10.
- L'eau de la source de Aïn Arbi donne la plus grande valeur de chrome dans l'eau, elle est plus de 6 fois supérieure à la norme.

IV.4 Cas particulier des eaux de Aïn Safra

Les deux eaux de sources de Aïn Safra sont colorées et présente des matières en suspension. Afin de mettre en évidence la composition de ces particules, nous avons procédé à la filtration de l'eau puis au dosage du filtrat afin de déterminer les paramètres chimiques. Le résidu a été solubilisé à l'acide nitrique et la teneur en métaux lourds a été déterminée par absorption atomique

Le tableau IV.8 montre que la filtration n'influe pas beaucoup sur le TA, TAC, bicarbonate, TH, dureté permanente et temporaire étant donné que ces paramètres sont liés à la présence d'ions dissous, qui sont trop petit pour être retenus par le papier filtre. La dureté temporaire a diminuée un peu, dans l'état de nos connaissances actuelles, nous ne pouvons pas expliquer cette baisse.

Tableau IV. 8– Comparaison des valeurs mesurées des différents paramètres en relation avec la structure naturelle de deux eaux de Aïn Safra(1) et (2) avant et après la filtration

Origine de l'eau	TA	TAC	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	TH	Dureté permanente	Dureté temporaire
Aïn Safra (1);	00	4,7	63,44	11	7	4
Aïn Safra (1) après filtration	00	4,9	65,88	8	7	1
Aïn Safra (2)	00	5,0	67,10	10	7	3
Aïn Safra (2) après filtration	00	5,0	67,10	10	9	2

Le tableau IV.9 compare les valeurs mesurées pour les paramètres chimiques de deux eaux de Aïn Safra avant et après filtration.

On remarque que les teneurs en chlorures ne varient pas après filtration. Les teneurs en ammonium, phosphates et nitrites varient peu après filtration. Les teneurs en sulfates et magnésium diminuent de dix à vingt fois après filtration. Les valeurs en Ca^{2+} qui augmentent après filtration nous paraissent improbables, mais nous ne pouvons donner une explication plausible, dans l'état actuel des connaissances.

Tableau IV. 9 Comparaison des valeurs mesurées des différents paramètres chimiques des eaux des sources Ain Safra (1) et (2) avant et après la filtration

Origine de l'eau	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+	PO_4^{3-}
Ain Safra(1)	19,58	05,28	11,35	42,6	0,08	0,04	0,16	0,08
Ain Safra(1)après filtration	31	0,48	0,42	42,6	--	0,03	0,15	0,05
Ain Safra(2)	25,29	30,24	10,84	71	13,71	0,07	0,23	0,05
Ain Safra(2) après filtration	30,19	9,12	1,77	71	--	0,03	0,18	0,04

Le tableau IV.10 donne une comparaison entre les valeurs dosées des métaux lourds dans les résidus de filtration et dans les deux eaux de sources. On remarque que le résidu est chargé en métaux. Ils sont classés par ordre croissant comme suit: Zn, Cr, Fe et Sn. Les teneurs trouvées sont assez faibles si on les compare avec la quantité du résidu. Ainsi, on peut confirmer que contrairement aux idées reçues de la population de Guelma, la coloration brunâtre des eaux de Ain Safra n'est pas dû à la présence de fer dans l'eau. On peut émettre l'hypothèse que cette coloration est probablement le résultat d'une activité biologique qui reste à déterminer.

Tableau IV. 10– Comparaison des valeurs mesurées des métaux lourds des eaux des sources Ain Safra(1) et (2) avant et après la filtration

Origine de l'eau	Métaux lourds (mg/l)							
	Cu	Zn	Cr	$\text{Fe}^{(III)}$	Ni	Cd	Sn	Pd
Ain Safra(1)	00	0,031	0,083	0,473	00	00	2,102	00
Résidu Ain Safra(1) (mg/L)	00	0,0046	0,0151	0,094	00	00	0,363	00
Ain Safra(2)	00	00	139	00	00	00	2,024	00
Résidu Ain assafra(2)	00	0,0055	0,0065	0,142	00	00	0,216	00

IV.5 Comparaison entre les valeurs affichées et mesurées de l'eau minérale "IFRI"

Afin de valider les résultats obtenus dans ce travail, nous avons choisi de comparer les paramètres affichés par l'étiquetage d'une bouteille d'eau minérale (IFRI) avec les valeurs que nous avons mesurées.

Tableau IV. 11– Comparaison entre les valeurs affichées et mesurées de l'eau minérale "IFRI"

Paramètre	IFRI			
	Valeur affichée	Valeur mesurée	Moyenne des eaux de robinet	Moyenne des eaux des sources
pH	7,2	7,6	7,74	7,49
Ca ²⁺	99	101	64,33	78,49
Mg ²⁺	24	29,28	15,69	23,62
SO ₄ ⁻	68	15	29,98	16,31
K ⁺	2,1	2,5	6,73	2,5
Na ⁺	15,8	26,43	39,40	19,09
Cl ⁻	72	99,4	78,64	67,45
HCO ₃ ⁻	265	301,34	163,88	242,65
NO ₃ ⁻	15	23,55	8,61	15,63
NO ₂ ⁻	<0,02	0,03	0,03	0,04
Résidu sec	380	819	640,77	578,9

D'après le tableau ci-dessus, on remarque qu'un certain parallèle existe entre les valeurs mesurées et les valeurs affichées. Les quelques divergences observées (les sulfates, les nitrates et le résidu sec) sont probablement dues à de petites différences entre les lots.

IV.6 Discussion

Afin d'établir un comparatif entre les différentes eaux de robinet et des eaux de sources, nous avons choisi de noter les paramètres nocifs pour la santé humaine, en l'occurrence; la présence des métaux lourds (Cr et Cd), ainsi que les paramètres qui constitue un gêne pour le consommateur, tels que la turbidité et la dureté.

D'après les tableaux IV.12 et IV.13 et nous permettent de tirer une conclusion quant à quel eaux ne représentent pas de danger pour la population.

Tableau IV. 12– Classification des eaux de robinet de la ville de Guelma suivant les résultats obtenus

Origine de l'eau	Turbidité	Nitrates	Nitrites	Dureté	Cr	Cd	Total
ERA	1	0	0	2	20	20	46
ERB	1	0	0	2	20	00	23
ERC	1	0	0	2	00	00	3
ERD1	1	0	0	5	10	10	26
ERD2	0	5	0	8	00	00	13
ERE1	1	0	0	2	00	00	3
ERE2	1	0	0	2	30	00	33
ERF1	0	0	0	2	50	00	52
ERF2	1	0	0	2	50	00	53
ERG1	1	0	0	2	30	00	33
ERG2	1	0	0	2	00	10	3
ERH	1	0	0	2	50	00	53
ERI	1	0	0	2	50	00	53

Méthode de calcul

paramètre	Pondérations des paramètres utilisées dans le calcul
Turbidité	<ul style="list-style-type: none"> – 0 pour les valeurs sous les normes – 1 pour les valeurs au-dessus des normes
Nitrates et Nitrite	<ul style="list-style-type: none"> – 0 pour les valeurs sous les normes – 5 pour les valeurs au-dessus des normes
Dureté	<ul style="list-style-type: none"> – 0 pour les eaux douces – 2 pour les eaux moyennement dures – 5 pour les eaux dures normales – 6 pour les eaux dures – 8 pour les eaux très dures
Chrome et cadmium	<ul style="list-style-type: none"> – 0 pour les valeurs sous les normes – 10 pour ceux qui dépassent de peu – 20 ceux qui sont deux fois au-dessus des normes – 30 ceux qui sont trois fois de la norme – 50 ceux qui sont plus que trois fois de la norme

Tableau IV. 13 – Classification des eaux de source de la ville de Guelma suivant les résultats obtenus

Origine de l'eau	Turbidité	Nitrates	Nitrites	Dureté	Cr	Cd	Total
S 1	0	0	0	5	10	0	15
S 2	0	0	0	8	50	0	58
S 3	0	0	0	8	50	0	58
S4	0	0	0	2	20	0	22
S 5	00	0	0	2	10	0	12
S 6	0	0	0	5	50	0	55
S 7	1	0	0	5	50	0	56
S 8	0	0	0	--	10	0	10
S 9	0	0	0	0	10	0	10
S 10	1	0	0	0	20	0	21
Ifri	0	0	0	6	10	0	16

Il s'avère que l'eau de robinet desservie à la nouvelle cité de Guelma et de la cité Fougerolles et de Hadj M'barek semble ne pas présenter de danger pour la population. Alors que l'eau de la source de Ain Safra paraît plus appropriées, si des analyses bactériologiques permettent de confirmer l'absence d'agents pathogènes. Il est à déplorer que l'eau de source qui est classée au même niveau que celle de Ain Safra soit celle provenant de la région de Constantine.

Il est à noter, qu'un simple traitement au charbon actif permettrait de diminuer la teneur en métaux lourds des eaux de robinets. L'absence d'inscription 'eau potable' ou 'eau non potable' au niveau des fontaines publiques a permis toutes les spéculations concernant les eaux de sources. La population de Guelma parcourt des dizaines de kilomètres pour s'approvisionner en eau réputée d'excellente qualité

IV.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté en détails les différents résultats obtenus avec leurs discussions. Nous pouvons conclure que l'eau distribuée par la municipalité est de qualité visuelle très faible. La présence de métaux lourds dans les eaux de robinets est un signe d'une faille dans le système de traitement des eaux. La qualité des eaux de sources est, contrairement aux idées reçues très en deçà de la moyenne. La signalisation de la potabilité ou non de ces eaux est fortement recommandée.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale

La pollution guette à chaque instant et de plus en plus toutes nos réserves d'eau ; c'est pour cela qu'il est devenu très utile de procéder à des contrôles et analyses de ce précieux trésor afin de fournir une information sur la qualité de l'eau qu'on consomme.

Le présent travail a été effectué sur une période d'observation de Mars 2015. Il a été mené dans le but de déterminer la qualité physico-chimique de l'eau de robinets desservies par la municipalité de Guelma et des sources de la région de Guelma (Nord-Est de l'Algérie).

Nous avons déterminé les paramètres en relation avec la structure naturelle de l'eau (pH, conductivité, dureté, etc.) ainsi que les paramètres chimiques (magnésium, calcium nitrate, nitrite, etc.). La technique de la spectrométrie d'absorption atomique a été employée pour la détermination quantitative des métaux lourds choisis pour l'étude.

L'ensemble des résultats que nous avons obtenus montrent que :

- L'eau de robinets est moyennement dure alors que les eaux de sources sont généralement dures. ;
- Dans la majorité des cas, les teneurs mesurés des paramètres chimiques répondent aux normes de potabilité à l'exception de l'eau prélevée au niveau de la cité Emir Abdelkader, où une teneur en nitrate élevée et dépassant la norme de potabilité de l'eau a été mesurée. Cette anomalie est due essentiellement à l'origine double de cette eau (eau de station de traitement des eaux et eau de forage qui est situé dans une région agricole). Il est nécessaire de rechercher par une étude hydrogéologique l'origine de cette pollution et de protéger le périmètre proche de l'émergence de l'eau pour éviter les risques de contaminations. ;
- Les résultats relatifs à la qualité des eaux de distribution ont montré la présence de métaux lourds non essentiels en quantité supérieure à la norme. Ce qui constitue

Bibliographie

- AAAnalyst** . « AAnalyst 200-400 user's guide ». Perkinelmer.
- Abda Amor. W**, « Etude physico-chimique et bactériologique des eaux d'un lac artificiel : cas du barrage de Zit-Emba (wilaya de Skikda) », master, université 8 mai 1945 de Guelma, 2009.
- Aouissi.A**, « Microbiologie et physico-chimie de l'eau des puits et des sources de la région de Guelma (nord-est de l'Algérie) », magister, université du 08 mai 1945 de Guelma, 2010.
- Aouissi.A, Houhamdi.M**, « Contribution à l'étude de la qualité de l'eau de quelques sources et puits dans les communes de Belkheir et Boumahra Ahmed (wilaya de Guelma, Nord-Est Algérien)» 1^{er} séminaire national sur la sante et bio-surveillance des écosystèmes aquatiques, university of souk ahras 2014.
- Atallah.A**, « procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer de Honaine ». Master, université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2014.
- Bahri.A**, « Contribution à la valorisation des eaux aquacoles dans l'amélioration de la production de l'oignon et de la laitue (cas de Kef Es-Soltane Ouargla) » d'ingénieur d'état, université kasdi-Merbah - Ouargla, 2009.
- Bechiri.N**, « Evolution du chimisme des eaux de surface et souterraines dans le bassin versant de la Seybouse (nord-est Algérien) », magister, université Badji Mokhtar-Annaba, 2011.
- Belghiti.M** et al, « Etude de la qualité physico -chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Meknès (Maroc)» Larhyss journal, Vol 14 ,2013. pp 21-36.
- Ben rabah.S**. « Etat actuel des ressources en eau dans la wilaya de Skikda (essai de synthèse) bilan – gestion – perspective ». Magister, université Badji Mokhtar-Annaba, 2006.
- Bendada.K** et Boulakradeche.M.W, « Optimisation des conditions de dosage par spectroscopie d'absorption atomique (SAAF et SAAET) : application a la détermination de la pollution et de la bioaccumulation des métaux lourds » master, université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, 2011.
- Benmarce.K**, « Caractéristiques physico-chimiques et isotopiques des eaux souterraines dans la région de Guelma (né Algérien) », magister, université Badji Mokhtar - Annaba, 2007.

- Boeglin.J-C**, « Contrôle des eaux douces et de consommation humaine ». p4210-techniques de l'ingénieur, 2000.
- Boeglin.J-C**, « Propriétés des eaux naturelles ». p2645-techniques de l'ingénieur, 2001.
- Brahmia.N et al**, « Evaluation et gestion des ressources en eau dans le bassin versant de la moyenne Seybouse. » 2^{ème} colloque international sur la géologie du Sahara. Ressources minérales, en hydrocarbures et en eau pp. 251-260.
- Bryson.B et al**, « Le changement climatique et l'eau ». Groupe d'experts intergouvernemental, 2008.
- CCCE**, « Recommandations canadiennes pour la qualité de l'eau : oxygène dissous (eau douce) ». Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement, 1999.
- CCME**, « de la source au robinet ». Comité Fédéral-Provincial-Territorial sur l'eau potable et Groupe de Travail sur la Qualité de l'Eau, 2004.
- CFPT**, « Nitrate et nitrite dans l'eau potable l'eau potable ». Comité Fédéral-Provincial-Territorial, 2013.
- Chaoui.W et al**, « Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux superficielles et souterraines de la région de Bouchegouf (Nord-Est Algérien). » Nature & Technologie, C- Sciences de l'Environnement, 2013, pp 33- 40.
- Cherfi.Z et al**, « Rapport sur la surveillance de la qualité de l'eau potable en Algérie ». Institut National de Sante Publique- Algérie, 2008.
- Czerniehowski.L**, « pollution des eaux souterraines et superficielles par des produits phytosanitaires dans un même bassin hydrogéologique ». Bureau de Recherches Géologiques et Minières, république Française, 1999.
- Dib.L**, « l'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine - Ain Yaghout (Est Algérien). Magister, université Hadj Lakhdar Batna
- DRBEO**, « Etude de la consommation d'eau dans la population adulte. » (Institut National de Sante Publique du Québec) 2004.
- El-Asslouj.et al**, « Analyse de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la communauté des Mzamza, au voisinage des eaux usées », Afrique Science, vol 03, 2007, pp109 - 122.
- EPMCDD**, « L'alimentation en eau potable ». Etablissement Public du Ministère Charge du Développement Durable, 2014.
- FAO**, « Les enjeux de la raréfaction des ressources et du changement climatique » Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 2007.
- FEPS**, « Fondation de l'eau potable sure » www.safewater.org.

- Ghebouli.M et al**, « Origine de la salinité des eaux souterraines cas des hautes plaines Setifiennes (nord-est Algérien).» Sciences & Technologie Vol 28, 2008, pp 37-46.
- Harrat.N et Achour.S**, «Qualité et réactivité des eaux de barrage de Zit El-emba » courrier du savoir, université Mohamed Khider – Biskra, Algérie. 2011. pp 113-117.
- Isabelle.G**, « Critères de qualité de l'eau de surface ». 3e Edition, Direction du Suivi de l'Etat de l'Environnement, Quebec., 2013.
- JENWAY**, « Flame photometer models PFP7 and PFP7/C operating and service manual.», www.jenway.com. pfp7.
- Jestin.E**, « la production et le traitement des eaux destinées a l'alimentation et a la préparation de denrées alimentaires » Agence de l'Eau Seine – Normandie – France.
- Kahoul.M et al**, « Evaluation de la qualité physico chimique des eaux de consommation de la ville d'Annaba (Algérie).» Larhyss Journal, Vol 19, 2014, pp 129-138.
- Kahoul.M et al**, « Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de puits dans la région de Berrahal (Algérie)» Larhyss Journal, Vol 19, 2014, pp 169-178.
- Kouadri.I**, « Analyses physico-chimiques des eaux de différentes origines », master, université 08 mai 1945 Guelma, 2013.
- Kramer.K**, « Stratégies d'échantillonnage pour les analyses d'eau.», Techniques de l'ingénieur, 2006.
- Makhloufi Abdelouahid**, « Etude de la qualité physicochimique et microbiologique de l'eau potable dans la ville de Bechar - sud-ouest Algérie ». 1^{er} séminaire international sur la ressource en eau au Sahara : évaluation, économie et protection, 2011. pp 355-364.
- Mebarki.A et al**, « Bases d'information et cartographie des bilans hydriques de l'Algérie du nord.», International Network Environmental Management Conflicts. 2010, pp 90-97.
- Merouani.M et Bouguedah.A.B**, « Etude de la pollution chimique et la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla », master, université Kasdi Marbah Ouargla, 2013.
- Mesure de la turbidité.
- Morel.J**, « Les ressources en eau sur terre : origine, utilisation et perspectives dans le contexte du changement climatique - un tour d'horizon de la littérature ». Halshs Archives, 2007.
- Mouchara.N**, « Impacts des lâchées de barrage Hammam Debagh sur la qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie amont (nord-est Algérien) » magister, université Badji Mokhtar-Annaba, 2009.

- Mouchet.P**, « Caractéristiques et propriétés des eaux, eau pure, eaux naturelles ». Techniques de l'ingénieur, 2011.
- Nicole**, « Dureté d'une eau, dosage compléxométrique ». Sciences physique en BTS.
- Nouar.T**, « Impact de la pollution sur les ressources en eau superficielles et souterraines de la région de Guelma ». Doctorat, université Badji Mokhtar Annaba, 2007.
- Perkinelmer**, « Atomic spectroscopy: a guide to selecting the appropriate technique and system »
- Perkinelmer**. « AAnalyst 200/400 atomic absorption spectrometers ». Perkinelmer.
- Perkinelmer**. «the standards you need to succeed.».
- pH-metre inolab** , « Mode d'emploi» , Wissenschaftlich-Technische Werkstätten (WTW) .
- Photolab spektral** «Mode d'emploi ». Wissenschaftlich-Technische Werkstätten (WTW).
- Popescu**, « Séparation des métaux lourds existants dans les eaux usées.» Analele Universitații din bucuresti – chimie 2 ,2006 pp: 7-14.
- Rodier.J**, « L'analyse de l'eau » 9^{ème} édition. Dunod, 2009.
- Sari.H**, « Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source "Attar" Tlemcen », master, université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen, 2014.
- Sun.L et al**, « Adsorption - aspects théoriques », p 2645. Techniques de l'ingénieur, 2003.
- wtw.site**, www.wtw.de