

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur  
Université de Guelma

Faculté des Mathématiques et de l'Informatique et des Sciences de la Matière  
Département des Sciences de la Matière

Mémoire de fin d'études  
Master



**Spécialité : Chimie physique**

*Présenté par :*

*Boukhnef yasmine*

*Madaoui nour elhouda*

---

---

**Application de la spectroscopie d'absorption atomique à la  
recherche des éléments métalliques dans les eaux du surface  
de la région de Guelma**

---

---

**Sous la Direction de : ATHMANI A.S**

**Juin 2019**



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur  
Université de Guelma

Faculté des Mathématiques et de l'Informatique et des Sciences de la Matière  
Département des Sciences de la Matière

Mémoire de fin d'études  
Master



**Spécialité : Chimie physique**

*Présenté par :*

*Boukhnef yasmine*

*Madaoui nour elhouda*

---

---

**Application de la spectroscopie d'absorption atomique à la  
recherche des éléments métalliques dans les eaux du surface  
de la région de Guelma**

---

---

**Sous la Direction de : ATHMANI A.S**

**Juin 2019**

وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ

[الانبیاء ۳۰]

We have made from water every living thing



Motmed Malik

## Remerciement

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

La première personne que nous tenons à remercier est notre encadrant **Pr. ATHMANI ALI SALAH** pour l'orientation, la confiance et la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu mené au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.

Nous présentons nos remerciements pour les membres de jury d'avoir accepté de juger ce travail qui nous a aidé beaucoup et encourage toute à la longue de notre formation.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au chef de département science de la matière, tous les enseignants, le staff administratif.

### Nous tenons à remercier :

Les techniciens de laboratoire de département sciences de la matière est sur tout M<sup>elle</sup> « **Ghenifi Siham** » qui m'ont porté soutien et encouragement.

Toute l'équipe de station de traitement : **Hammam Debagh**.

Toute l'équipe de laboratoire de l'université **Mohammed chérif Messadia de souk ahras**

Le technicien de la bibliothèque « **Faysal** ».

Enfin, toute personne avais élaborés de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Et notre section « 2019 »



## Dédicace

*Je dédie ce modeste travail :*

*Tout d'abord à mon père Rabi yarhmou*

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts,*

*Ma vie et mon bonheur ;*

*Maman que j'adore.*

*A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenu tout  
au long de ce projet :*

*A mon fiancé MOHAMED ISLAM qui donné le  
courage pour terminer ce travail.*

*A mes chers frères, et spécialement HAROUNE sans  
oublier ma famille et mes amis HANA, Wafa,  
KAWTHER, NOUR*

*A ma nièce princesse « ARWA »*

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin  
pour que ce*

*Projet soit réalisé.*

*Yasmine*



# Dédicace

*Merci à Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir. La force d'y croire la patience d'aller jusqu'au bout de rêve et bonheur de lever mes mains vers le ciel et de lui dire « YA KAYOUM ».*

*Je dédie ce Modest travail heur à ceux qui se sacrifiés pour mon bonheur et ma réussite : à ma mère « **FOUZIA** » et à mon père « **MOUKHTER** ».*

*A mon marie « **MOURAD** » à qui je dois une grande part de la réussite de mon projet grâce à son soutien et à qui souhaite tout le bonheur du monde.*

*A mes très chères sœurs « **BOUCHRA** » et « **HAYOUTA** » .Et à mon cher frère « **MOHAMED** ».*

*A toute ma famille*

*A la famille de mon marie*

*A mes très chers amis d'être toujours à mes côtés : **Zahiya ,Lamia, kawter, wafa, yasmine, ,Nada, mariya***

**NOUR**

<b>Sommaire</b>	
<b>Titre</b>	<b>page</b>
Liste des figures	-
Liste des tableaux	-
Introduction général	<b>1</b>
<b>Partie théorique</b>	
<b>Chapitre I : pollution des eaux de surface</b>	
I.1 Les ressources hydriques naturelles	<b>2</b>
I.1.1 Cycle de l'eau dans la nature	<b>3</b>
I.1.2 Eau naturelles	<b>4</b>
I.2 Source des pollutions des eaux de surfaces	<b>5</b>
I.2.1 La pollution d'origine urbaine	<b>5</b>
I.2.2 La pollution d'origine agricole	<b>6</b>
I.2.3 La pollution d'origine industrielle	<b>6</b>
I.3 Types de pollutions	<b>6</b>
I.3.1 Les polluants chimiques	<b>6</b>
I.3.2 Le polluant thermique	<b>8</b>
I.4 Conclusion	<b>8</b>
Références bibliographiques	<b>9</b>
<b>Chapitre II : Traitement des eaux de surfaces</b>	
II.1 La situation de la station	<b>10</b>
II.2 Les étapes de traitement de l'eau de surface	<b>10</b>
II.2.1 Pré chloration	<b>12</b>
II.2.2 Coagulation	<b>12</b>
II.2.3 Floculation	<b>12</b>
II.2.4 Décantation	<b>14</b>
II.2.5 Filtration	<b>15</b>
II.2.6 La stérilisation	<b>16</b>
II.3 Conclusion	<b>17</b>
Références bibliographiques	<b>18</b>
<b>Chapitre III : La spectrométrie d'absorption atomique (SAA)</b>	
III.1 Principe de la méthode	<b>19</b>
III.2 Instrumentation de base	<b>22</b>
III.3. Source lumineuse	<b>23</b>
III.3.1 Chambre d'absorption	<b>24</b>
III. 3.1.1. La flamme	<b>24</b>
III.3.1.2 Le four graphite	<b>24</b>

III.3.2 Monochromateur	25
III.4 Difficultés analytiques et résolution des problèmes analytiques en SAA	26
III.4.1 Difficultés analytiques	26
III.4.2 Résolution des difficultés	27
III.4.2.1 Modifications technologiques de l'équipement	27
III.4.2.2 Correction des interférences physiques	29
III.4.2.3 Correction des interférences chimiques	29
III.5 Dosage par absorption atomique	29
III.6 Quelques application	30
Référence bibliographique	31
<b>Chapitre IV : Pollution par les métaux lourds</b>	
IV.1. Origines Naturelles et humaines des métaux lourds dans l'environnement	32
IV.1.1 Les sources naturelles	32
IV.1.2 Les sources anthropiques	32
IV.2 Propriétés et toxicité des métaux lourds	33
IV.3 Effets des métaux lourds sur l'environnement et sur l'homme	36
IV.3.1 Effets sur l'environnement	36
IV.3.1.1 Contamination des sols	36
IV.3.1.2 Contamination de l'air	36
IV.3.1.3 Contamination de l'eau	37
IV.3.2 Effets sur la santé	37
IV.4. Conclusion	37
Référence bibliographique	38
<b>Partie pratique</b>	
<b>Chapitre V : Matériels et méthodes</b>	
V.1 Description de la zone d'étude	39
V.1.1 Le barrage Hammam Debagh	39
V.1.2 Le site du barrage	39
V.1.3 Situation géographique de la zone d'étude	39
V.1.4 Le bassin versant	40
V.1.5 Les activités anthropiques autour du barrage	41
V.2 Echantillonnage	41
V.3 Conservation des échantillons	42
V.4 Filtration et acidification des échantillons	42
V.5 Dosage des métaux	44
V.6 Préparation des courbes d'étalonnage	44

V.6.1 Courbe d'étalonnage du cadmium	<b>44</b>
V.6.2 Courbe d'étalonnage du plomb	<b>44</b>
V.6.3 Courbe d'étalonnage du zinc	<b>45</b>
V.6.4 Courbe d'étalonnage du fer	<b>45</b>
V.6.5 Courbe d'étalonnage du manganèse	<b>45</b>
V.6.6 Courbe d'étalonnage du cuivre	<b>45</b>
V.7 Dosage des métaux	<b>45</b>
V.7.1 Dosage du cadmium	<b>45</b>
V.7.2 Dosage du plomb	<b>46</b>
V.7.3 Dosage du zinc	<b>47</b>
V.7.4 Dosage du fer	<b>47</b>
V.7.5 Dosage du manganèse	<b>48</b>
V.7.6 Dosage du cuivre	<b>48</b>
<b>Chapitre VI : Résultats et discussions</b>	
VI.1 Expression des résultats	<b>50</b>
VI.1.1 Mesure de la température et du pH	<b>50</b>
VI.1.2 Résultats des dosages des métaux	<b>51</b>
VI.1.3 Interprétation des résultats de dosage des métaux	<b>51</b>
Référence bibliographique	<b>54</b>
<b>Conclusion</b>	<b>55</b>
<b>Résumé</b>	<b>-</b>
<b>Annexe</b>	<b>-</b>

## Liste des figures

<b>Chapitre I</b>	<b>Fig.I.1.</b> Répartition eau Sallé/ eau douce sur terre	2
	<b>Fig.I.2.</b> Répartition de l'eau douce	2
	<b>Fig.I.3.</b> Le cycle d'eau sur la terre (ce2)	3
<b>Chapitre II</b>	<b>Fig.II.4.</b> Représentation schématique de la chaîne de traitement de l'eau de consommation	11
	<b>Fig.II.5.</b> Coagulation – floculation	13
	<b>Fig.II.6.</b> Décantation	14
	<b>Fig.II.7.</b> Filtration	16
<b>Chapitre III</b>	<b>Fig.III.8.</b> Absorption du photon	20
	<b>Fig.III.9.</b> Les composants d'un spectromètre d'absorption atomique	22
	<b>Fig.III.10.</b> Les instruments de base pour la spectrométrie d'absorption atomique(20)	22
	<b>Fig.III.11.</b> Lampe cathode creuse	23
	<b>Fig.III.12.</b> Interférence chimique	27
	<b>Fig.III.13.</b> Interférence physique	29
<b>Chapitre V</b>	<b>Fig.V.14.a.</b> Localisation de ville de Guelma dans l'Algérie	40
	<b>Fig.V.14.b.</b> Localisation du barrage du Hammam Debagh dans la région de Guelma	40
	<b>Fig.V.15.</b> Filtration des échantillons	43
	<b>Fig.V.16.</b> Acidification des échantillons	43

## Liste des tableaux

<b>Chapitre I</b>	<b>Tableau I.1</b> - principales différence entre eaux de surface et eaux souterraines	<b>5</b>
<b>Chapitre IV</b>	<b>Tableau.IV.2</b> -Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement	<b>33</b>
<b>Chapitre V</b>	<b>TableauV.3</b> - Paramètres de dosages des éléments métalliques	<b>44</b>
<b>Chapitre VI</b>	<b>TableauVI.4</b> - Les résultats des concentrations des métaux	<b>51</b>

## Introduction :

Les métaux lourds sont des polluants engendrés par l'activité humaine qui ont un fort impact toxicologique. Dans un milieu naturel, les éléments métalliques peuvent être classés en deux catégories :

La première catégorie rassemble les éléments qui, présents à l'état de trace, sont essentiels à la croissance, au développement voire à la reproduction des organismes vivants, aussi bien micro que macroscopiques. Les métaux suivants en font partie: Cu, Zn, Co, Fe, Mn, Ni, Cr, V, Mo, Se, Sn. Lorsque la concentration de ces éléments est trop faible, un phénomène de carence est donc observable pour ces organismes. Pour autant, une augmentation forte de la concentration en ces éléments métalliques peut aboutir à des phénomènes de toxicité.

La deuxième catégorie est quant à elle constituée des éléments métalliques toxiques, non nécessaires à la croissance des organismes vivants, tels que le cadmium, le plomb, le mercure.

L'ensemble de ces éléments peut être d'origine naturelle mais leurs concentrations sont généralement modifiées par les activités anthropiques générant d'importantes pollutions. La quantification de ces éléments traces est donc une donnée indispensable à l'estimation de leur impact dans l'environnement. Dans notre travail on s'intéresse aux analyses des eaux du barrage d'Hammam Debagh (région de Guelma) et la détection de quelques métaux lourds des deux catégories cités ci-dessus et ceci par spectrométrie d'absorption atomique (SAA).

Ce mémoire s'articule autour de six chapitres.

Le premier chapitre introduit les eaux de surfaces et sa pollution.

Le deuxième chapitre s'intéresse aux différents traitements des eaux de surfaces.

Le troisième chapitre étudie la spectrométrie d'absorption atomique (SAA).

Le quatrième chapitre comporte la pollution par les métaux lourds.

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

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

Nous avons terminé cette étude par une conclusion qui a marqué les grandes lignes de nos résultats et quelques perspectives que nous avons jugé nécessaires à réaliser.

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 milliards de personnes (17%) de la pollution n'a pas accès à un approvisionnement sûr en eau, tandis que 2,4 milliards de personnes (40%) manque d'installations sanitaires adéquates. La majorité des personnes concernées habitent en Afrique et en Asie. [1]

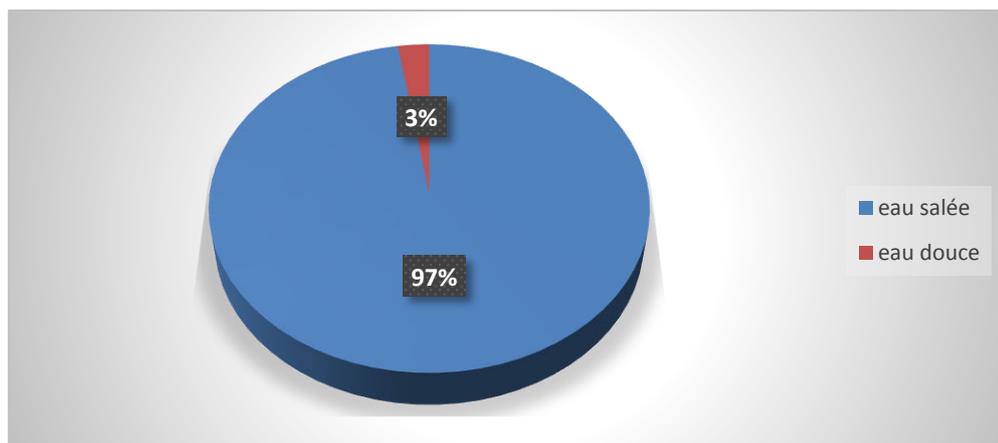
### I.1 Les ressources hydriques naturelles :

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 (zone arides). Elle est indispensable à la vie et 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 km<sup>3</sup> cependant, 97% de cette quantité se trouve sous forme d'eau salée et 2,5 % sous forme d'eau douce, environ 35 millions de km<sup>3</sup>. 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...).[2]

La figure 1 et 2 ci-après récapitule cette répartition



**Fig.I.1. Répartition eau Sallé/ eau douce sur terre.**

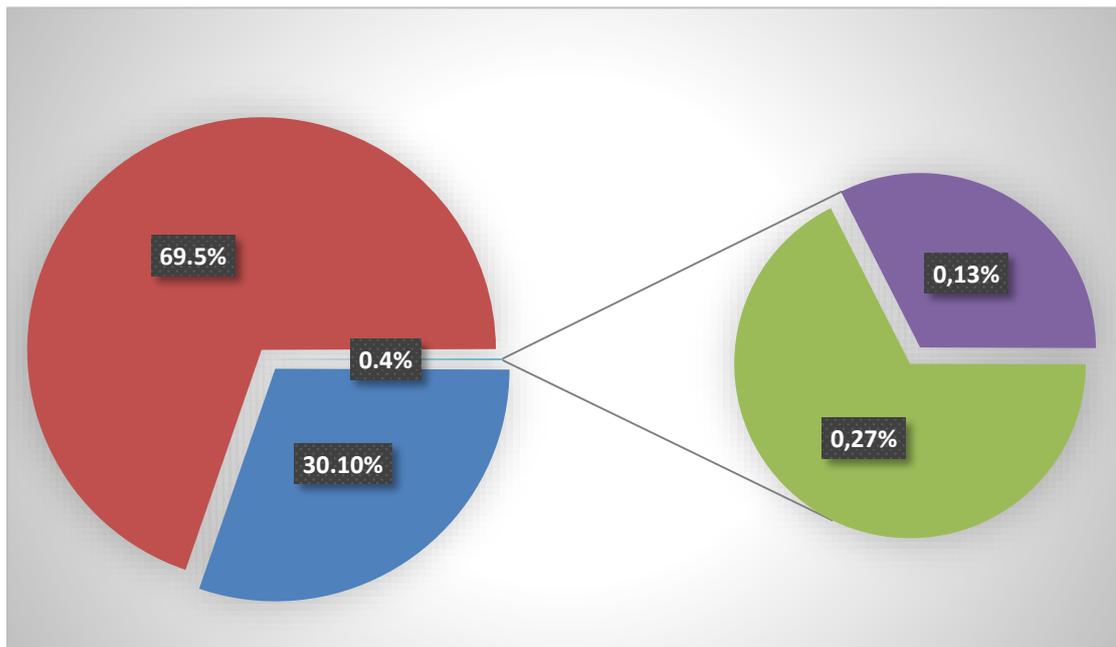


Fig.I.2. Répartition de l'eau douce.

I.1.1 Cycle de l'eau dans la nature :

On appelle la circulation naturelle d'eau sur la planète le cycle hydrologique. L'eau est évaporée par le soleil, incorporée aux nuages comme vapeur d'eau, tombe sur la terre et sur les étendues d'eaux sous forme de pluie, à partir de la terre elle retourne de nouveau aux ressources d'eaux dans le cycle hydrologique. Tout d'abord, cette notion de cycle est une notion dynamique elle implique un mouvement et des échanges entre différents réservoirs. [3]

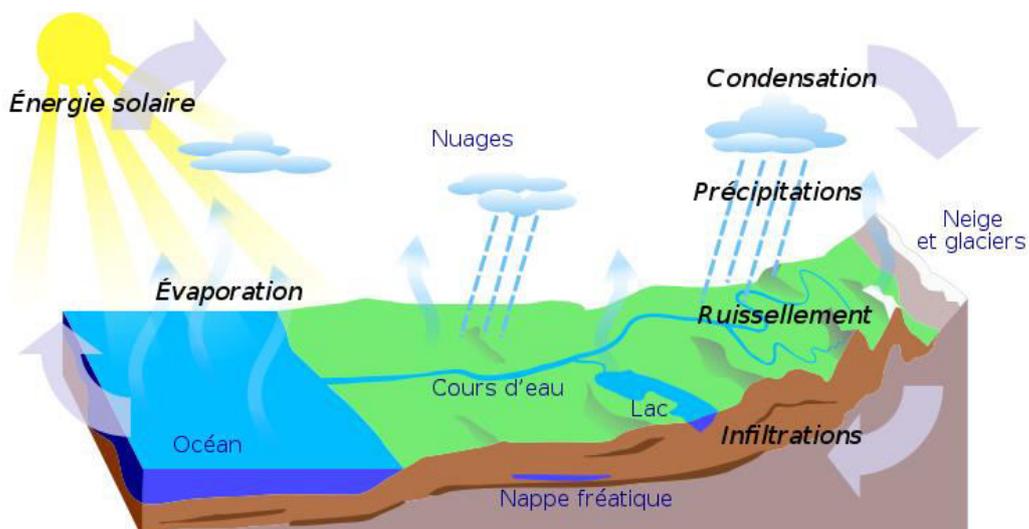


Fig.I.3. Le cycle d'eau sur la terre (ce2).

**L'évaporation** : chauffée par le soleil, l'eau des fleuves, des océans, des rivières et des lacs s'évapore et monte dans l'atmosphère.

**La condensation** : au contact des couches d'air froid de l'atmosphère, la vapeur d'eau se condense en minuscules gouttelettes qui poussées par les vents, se rassemblent et forment des nuages.

**Les précipitations** : les nuages déversent leur contenu sur la terre sous forme de pluie, de neige ou de grêle.

**Le ruissellement** : la plus grande partie de l'eau tombe directement dans les océans. Le reste s'infiltré dans le sol (pour former des nappes souterrains qui donnent naissance à des sources) ou ruisselle pour aller grossir les rivières qui à leur tour, vont alimenter les océans. [4]

### I.1.2 Eau naturelles :

Généralement, les réserves des eaux naturelles sont constituées des eaux de surfaces qui comprennent les eaux courantes des rivières et des canaux ; des eaux souterraines provenant de l'infiltration des eaux de pluies dans le sol qui constituent les nappes. [5]

#### a. 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 versant. [6]

Les principales différences entre l'eau de surface et l'eau provenant des sols sont résumées dans le tableau ci-dessous. [7]

#### b. Eaux souterraines :

Les eaux de 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 au 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 précipitations pluvieuses ou les écoulements d’eau en dessus.
- ❖ Nappes captives : plus profondes que les premières et séparées de la surface une couche imperméables, l’alimentation de ces nappes est assurée par l’infiltration sur leurs bordures.

**Tableau I.1 - principales différence entre eaux de surface et eaux souterraines**

<b>Caractéristique</b>	<b>Eaux de surface</b>	<b>Eaux souterraines</b>
<b>Température</b>	Variable suivant saisons	Relativement constante
<b>Turbidité</b>	Variables, parfois élevée	Faible ou nulle
<b>Couleur</b>	Liée surtout aux mes sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides humique, etc.)
<b>Minéralisation globale</b>	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
<b>Fer et manganèse dissous</b>	Généralement absent	Généralement présents
<b>Nitrates</b>	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
<b>Micropolluants minéraux et organiques</b>	Mais susceptibles de disparaître présents dans les eaux de pays développés, Rapidement après suppression de la source	Généralement absents mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
<b>Eléments vivants</b>	Bactéries, virus	Ferro bactéries fréquentes

## I.2 Source des pollutions des eaux de surfaces

Les eaux de surface (douce) sont l’eau qui coulent ou qui stagnent à la surface du sol (rivières, lacs, étangs, barrages, etc.) ; donc il y a plusieurs sources des pollutions des eaux de surface.

### I.2.1 La pollution d’origine urbaine :

Ce sont les eaux des habitations et des commerces qui entraînent la pollution urbaine de l’eau. Les polluants urbains sont représentés par les rejets domestiques, les eaux de lavage collectif et de tous les produits dont se débarrassent les habitants d’une agglomération

notamment des rejets industriels rejetés par les entreprises en quantités variables selon l'importance de l'agglomération et son activité. [8]

### I.2.2 La pollution d'origine agricole :

L'agriculture, l'élevage, l'aquaculture et l'aviculture sont responsables du rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques dans les eaux de surfaces et souterraines.

Ces contaminants comprennent à la fois des sédiments provenant de l'érosion des terres agricoles, des composés phosphorés ou azotés issus des déchets animaux et des engrais commerciaux, notamment des nitrates.

La modernisation de l'agriculture et son intensification ont été généralement accompagnées d'une utilisation abusive et non rationnelle des engrais azotés, notamment.

L'utilisation des pesticides en agriculture est pour protéger les cultures et les récoltes contre les insectes prédateurs afin d'augmenter les rendements. [8,9]

### I.2.3 La pollution d'origine industrielle :

Le développement accéléré des techniques industrielles modernes a engendré une pollution très importante.

En effet, celle-ci est devenue plus massive, plus variée et plus insidieuse. Devant l'extrême diversité de ces rejets, une investigation propre à chaque type d'industrie est nécessaire : il est donc primordial d'être parfaitement informé sur les procédés de fabrication et le circuit des réactifs et des produits.

Ses caractéristiques varient selon l'industrie. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent contenir :

- ❖ Des graisses (industrie agroalimentaires).
- ❖ Des hydrocarbures (raffineries).
- ❖ Des acides, des bases et des produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries ...etc.).[9],[10]

## I.3 Types de pollutions :

### I.3.1 Les polluants chimiques :

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

- ❖ Les éléments chimiques minéraux.
- ❖ Les éléments chimiques organiques.

### a. Les éléments chimiques minéraux :

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

#### Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) :

Les nitrates sont présents naturellement dans les eaux ; les apports excessifs ou mal maîtrisés d'engrais azotés provoquent une augmentation des nitrates dans les ressources. Les nitrates se transforment en nitrite dans l'estomac. Ces nitrites peuvent provoquer la transformation de l'hémoglobine, impropre à fixer l'oxygène. Ce phénomène est à l'origine de cyanoses, notamment chez les nourrissons. La consommation d'eau chargée en nitrates ou nitrites par la femme enceinte ou le nourrisson peut être un risque pour le nouveau-né.

#### Les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) :

En plus de l'agressivité et de la minéralisation qu'ils confèrent à ces eaux ; des taux élevés modifient la saveur de l'eau et contribuent aux dépôts de sels néfastes pour l'agriculture.

#### Les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) :

En plus des inconvénients qui caractérisent les chlorures, les sulfates participent aux métabolismes des bactéries contenues dans l'eau, les bactéries sulfate réductrices transforment les sulfates en sulfures avec dégagement de gaz sulfureux (odeurs d'œufs pourris) créant des désagréments à l'environnement.

#### Les métaux lourds :

Les éléments trace métalliques sont généralement définis comme des métaux lourds. On appelle métaux lourds tout élément métallique naturel dont la masse volumique dépasse  $5\text{g/cm}^3$ . Ils englobent l'ensemble des métaux et métalloïdes présentant un caractère toxique pour la santé et l'environnement. Les métaux lourds les plus souvent considérés comme toxiques pour l'homme sont : le plomb, le mercure, l'arsenic et le cadmium. D'autres comme le cuivre, le fer, le zinc, le chrome, pourtant nécessaires à l'organisme en petites quantités, peuvent devenir toxiques à doses plus importantes.

Dans le cadre de chimie, les métaux lourds sont généralement définis sur la base de leurs propriétés physico-chimiques. En science du sol, il est convenu de parler « d'éléments trace métalliques » qui désignent des composés minéraux présents à très faible concentration.

### b. Les éléments chimiques organiques :

La matière organique est principalement issue de la décomposition des végétaux, des animaux et des microorganismes. Il est donc difficile d'en donner une description précise ou une

composition moyenne .elle participe a beaucoup de paramètres de qualité de l'eau : couleur, sous produits de désinfection, odeurs, saveurs, etc. [3]

Polluants organiques évoluent car ils ont besoin d'oxygène mais en son absence, ils dégageront des odeurs par putréfaction.

### **c. Les polluants mécaniques :**

Ils résultent des décharges des déchets et des particules solides apportés, ainsi que les eaux ruissellement. Ces polluants sont soit les éléments grossiers soit du sable ou bien les matières en suspension mes. [11]

### **I.3.2 Le polluant thermique :**

Les eaux rejetées pas les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries, etc...); ont une température de l'ordre de (70 à 80<sup>0</sup>c). Elle diminue jusqu' à (40 à 50 °c) lorsqu'elle contacte les eaux des milieux aquatiques entraînant un réchauffement de l'eau, qui qui influe sur la solubilité de l'oxygène. [1]

### **I.4 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.

**Références bibliographiques**

- [1] : Abda .A, W. Etude physique et bactériologique des eaux d'un lac du barrage de Zit\_Emba (wilaya de Skikda) : université 8 mai 1945 de Guelma ; 2009.
- [2] : Morel .J. Les ressources en eau sur terre : origine, utilisation et prospective dans le contexte du changement climatique –un tour d'horison de la littérature. Halshs archives .2007.
- [3] : Gaamoune .S. Le rôle des biofilms d'algues dans les traitements biologiques des eaux .biologique végétale : université Ferhat Abbas, Sétif .2010.
- [4] : Boelgin .J. propriétés des eaux naturelles .technique de l'ingénieur. Réf : p2645.2010.
- [5] : Zerki .N. Apport de la chimométrie pour l'analyse et l'interprétation de quelque influence la répartition des métaux lourds, des éléments nutritifs et des anions dans les eaux de l'oued de Bourégré. Chimie physique .thèse de doctorat : université Mouhames .v, Alger.2013.
- [6] : Merouani .M. Boughedah .A.B. Etude de la pollution chimique et la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla .master : université kasdi Marbah Ouargla .2013.
- [7] : Kouadri .I. Analyses physico-chimique des eaux de différentes origines .master : université 08 mai 1945 Guelma ; 2013.
- [8] : Melghit .M. Qualité physico –chimique pollution organique métallique des compartiments eau /sédiments de l'oued Rhumel, des barrages hammam grouz et béni Haroun .mémoire de magister : université mentouri Constantine .2017 réf p151.
- [9] : Oubagha. Décontamination des eaux contenant les colorants textiles et les adjuvants par matériaux naturels et synthétique .mémoire : université mouloud Mammeri. Tisi Ouzou .2011.p151.
- [10] : La direction du conseil n° 91/271 relative des eaux urbaines résiduaires .21 Mai 1991.
- [11] : Mekhalfi .F. Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement. Chimie, magister : université du 20 Aout 1955.Skikda .2009.

Les eaux de rivières, comme celles issues de barrages, Réservoirs ou des lacs ne peuvent être utilisées telles qu'elles pour la consommation publique.

Aussi, examinera-t-on, dans ce chapitre, les moyens propres à rendre potable les eaux ainsi captées. Parfois un traitement simplifié Pour les eaux de lacs naturels ou artificiels pourra être envisagé.

L'étude portera également sur les affluents d'amont alimentent la rivière, le Barrage ou le lac. Elle sera effectuée au minimum sur un cycle climatique complet.

### II.1 La situation de la station

La station de traitement d'eau de Guelma se trouve au sein du barrage de hammam Debagh à l'ouest de la ville de Guelma avec une surface de trois hectares.

La station permet de produire une eau potable répondant aux normes de potabilité de l'OMS à partir d'une eau de surface. D'une capacité de production de 500 L/s d'eau traitée, L'installation de traitement, est destinée à approvisionnement en eau potable de la ville et de ses localités. [1]

### II.2 Les étapes de traitement de l'eau de surface

Les principales étapes du traitement sont :

- ❖ Pré chloration au l'eau de javel.
- ❖ Coagulation au sulfate d'alumine (ou au chloro-sulfate ferrique).
- ❖ Flocculation au poly-électrolyte.
- ❖ Décantation.
- ❖ Filtration rapide gravitaire, en une seule étape, sur des lits de sable.
- ❖ Stérilisation de l'eau filtrée au l'eau de javel. [1]

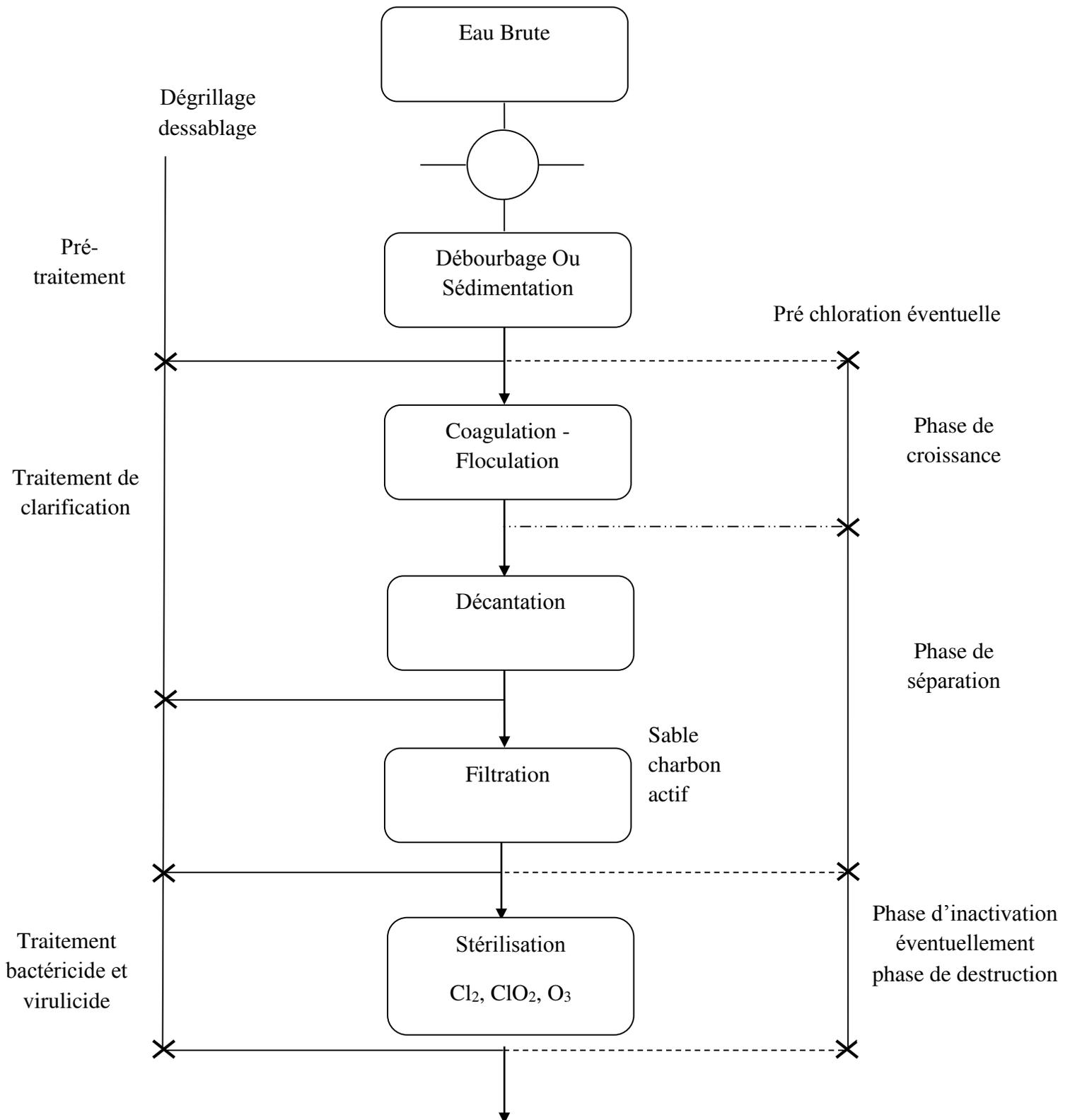


Fig.II.4. Représentation schématique de la chaîne de traitement de l'eau de consommation

### II.2.1 Pré chloration

#### a. Principe :

L'objectif principal du pré chloration dans le traitement de l'eau brute, notamment une eau de surface est d'inhiber tout développement de vie aquatique (Algues), d'oxyder les ions ferreuse et manganeeux, l'ammoniaque, les nitrites et toutes les matières organiques oxydables. Ainsi, transformés en corps relativement insolubles, leur élimination sera facilitée au cours des étapes suivants de traitement.

#### a. Fonctionnement :

L'eau brute, subit un pré chloration au niveau du regard de contrôle.

Le pré chloration prévue pour une dose maximum de 10 g/m<sup>3</sup> serait réalisé à partir de chlore gazeux sous forme liquide dans les tanks. Le dosage serait effectué par chlorométries.

La solution d'eau de chlore sera véhiculée jusqu'au point d'injection par un hydro-éjecteur et une pompe d'eau motrice connecté au réseau d'eau de service. [1]

### II.2.2 Coagulation

La coagulation est l'une des opérations les plus importantes dans le traitement des eaux de surface. Cette étape a une grande influence sur les opérations de décantation et de filtration ultérieures. Les colloïdes en solution sont naturellement chargés négativement. Ainsi, elles se repoussent mutuellement et restent en suspension. On dit qu'il y a stabilisation des particules dans la solution. La coagulation consiste en la déstabilisation de ces particules par la neutralisation de leurs charges négatives en utilisant des réactifs chimiques nommés coagulants avec une agitation importante.

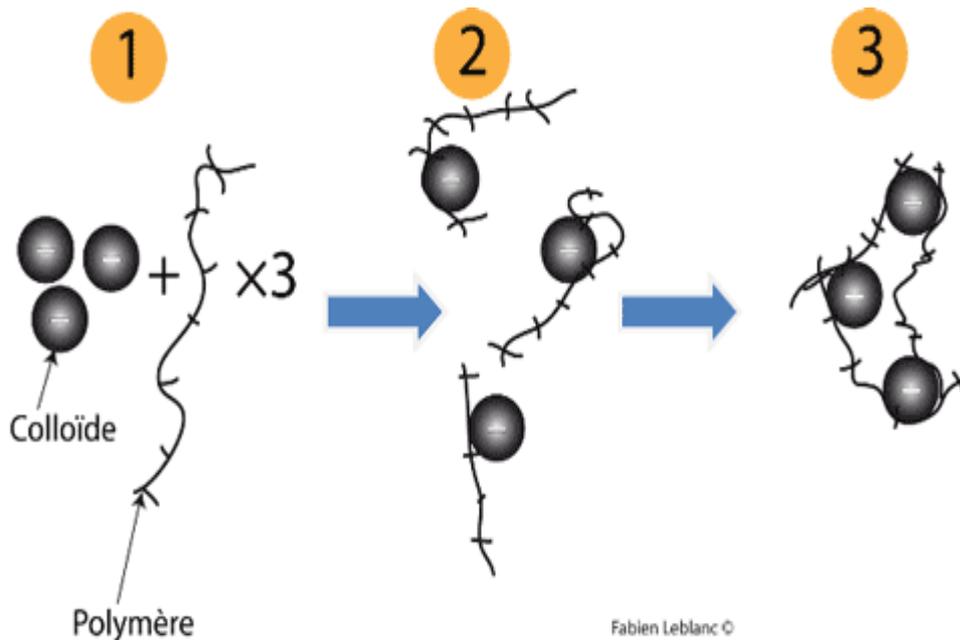
Le choix du coagulant et la dose ont une influence sur la qualité de l'eau, le coût d'exploitation, et les opérations ultérieures. Il existe deux principaux types de coagulant :

- ❖ Les sels de fer (chlorure ferrique).
- ❖ Les sels d'aluminium (sulfate d'aluminium). [2]

### II.2.3 Flocculation

La flocculation est le phénomène de formation de flocons de taille plus importante (agglomération des colloïdes déchargés dans un réseau tridimensionnel). On utilise, pour se faire, des flocculant ou adjuvants de flocculation. Contrairement à l'étape de coagulation, la flocculation nécessite une agitation lente.

Les flocculant ou adjuvants de flocculation sont, dans leur grande majorité, des polymères de poids moléculaire très élevé. Ils peuvent être de nature minérale, organique naturelle ou organique de synthèse. Les boues formées pendant la coagulation-flocculation aboutissent après décantation dans des concentrateurs. [3]



**Fig.II.5. Coagulation - floculation**

L'eau contient de nombreux composés puis peuvent se regrouper en trois catégories :

- **Matières en suspension :**

Les particules qui sont en suspension dans l'eau peuvent être d'origine minérale (sables, limons, argiles) ou organique (produit de la décomposition des matières végétales ou animales, acides humiques ou fulviques ...)

A ces composés s'ajoutent les micro-organismes tels que les bactéries, le plancton, les algues, et les virus. Ces substances sont responsables, en particulier de la turbidité et de la couleur de l'eau. [4]

- **Matières colloïdales :**

Ce sont des matières en suspension de même origine que les précédentes mais de plus petite taille, dont les dimensions inférieures à 1 micromètre et la décantation est excessivement lente. Les colloïdes sont en général chargés négativement, ce qui leur confère une grande stabilité.

Ces colloïdes possèdent la propriété de se maintenir en équilibre au sein de l'eau sans effet de forces électrostatiques de répulsion. Elles sont également génératrices de turbidité et de couleur. [5], [6]

- **Matières dissoutes :**

Moins de quelques nanomètres, ce sont généralement des cations ou des anions, une partie de la matière organique est également sous forme dissoute. On trouve aussi des gaz ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ ...). [7]

### II.2.4 Décantation

#### a. Principe :

Cette étape consiste en la séparation de l'eau et de floc. Elle a pour but d'éliminer la plus grande partie des substances minérales ou organiques polluantes l'eau brute et que l'étape de floculation a séquestré dans un enrobage hydroxydes en suspension apte à précipiter.

#### b. Fonctionnement :

La clarification des eaux est prévue dans un ouvrage circulaire, équipé d'un système de raclage du radier, capable de supporter une teneur maximum en matières des eaux brutes de 10 g/l

L'eau floculée est admise en partie basse du décanteur par une conduite placée sous le radier.

L'eau est distribuée uniformément à travers l'ouvrage permettant une sédimentation des floes.

Par les bords déversoirs, réglable en hauteur et installés sur la paroi extérieure, l'eau se déverse dans la goulotte périphérique et de là vers le bassin collecteur d'eau clarifiée. Les eaux collectées sont acheminées vers les filtres au moyen d'une conduite.

Les boues décantées sont dirigées par l'entremise du système de racolage vers un puisard central, où elles subissent un épaissement gravitaire avant leur extraction. [1]



**Fig.II.6. Décantation**

### II.2.5 Filtration

#### a. Principe :

La filtration a pour but de retenir par passage à travers un matériau filtrant, les flocons résiduels ayant échappé à la décantation de façon à obtenir une eau tout à fait limpide.

#### b. Fonctionnement :

Le principe de filtration retenu est un système conventionnel ouvert à sable dite filtration rapide.

La filière de traitement proposée prévoit une batterie de filtration comprenant six filtres ayant une surface unitaire de 50 cm<sup>2</sup>.

Le matériau filtrant est constitué par du sable de quartz d'une granulométrie comprise entre 0,7 et 1,2 mm ; et coefficient d'uniformité inférieur ou égale à 1,5.

La hauteur de la couche filtrante est de 1000 mm. Les filtres sont réalisés en béton armé, la charge filtrante repose sur un plancher en béton armé préfabriqué garni de bosselures en matières synthétique. Cet ensemble permet d'obtenir une bonne répartition du fluide de lavage au sein de la masse.

En mode filtration, l'eau clarifiée provenant de la sur verse du décanteur sera distribuée gravitairement sur les filtres via une goulotte assurant la liaison entre l'ouvrage de clarification et les filtres. L'alimentation de chaque filtre se fera par l'intermédiaire de vannes.

L'hydraulique du système est telle que l'eau filtrée passera dans la réserve d'eau de lavage via une conduite de transfert aménagée à cette fin. L'eau doit atteindre le niveau du déversoir de cette réserve avant de se diriger, en avant vers le regard d'eau traitée. [1]

A raison de la teneur d'eau en particules fines ou gros, la filtration se divise en deux étapes :

- **Filtration rapide :**

Lorsque l'eau contient que des fines particules (et des substances dissoutes) on peut passer sur un filtres (diminution des grains 1 mm) agit essentiellement comme un tamis mécanique, l'efficacité de cette dernière pour éliminer les micro-organismes et la turbidité. [8]

- **Filtration lente :**

Dont la vitesse de filtration au lieu de 5 à 10m à l'heure et de 2 à 5 mètre par jour, constitués par une couche de sable très fin menue de drains dans laquelle l'eau est directement introduite sans réactifs et percole doucement par gravité, dont la couche supérieur un bio film de micro-organisme (comprenant des bactéries, des algues, de protozoaires, ...etc.) qui forment une chaîne alimentaire qui opère dans des conditions aérobies.

Dans en plus de son action mécanique, le filtre à sable lent effectue aussi une Purification biologique. Il en résulte une oxydation des substances organiques contenues dans l'eau, de l'azote ammoniacal en nitrates et l'élimination de phosphore sous forme de biomasse.

Les filtres lents enlèvent certaines substances qui donnent à l'eau un goût ou une odeur, ils peuvent aussi réduire les teneurs en toxines cyanobactériennes par fois parentes.

Le filtre bien étendu s'encrassent peu jusqu'au moment où il est nécessaire de le nettoyer, c'est un cas de colmatage.

Le nettoyage consiste à injecter l'air pour séparer les grains du sable et pour faire sécher, puis l'injection d'eau jusqu'à le lavage de filtre.

Au contraire au filtre rapide on ne pratique pas de contre lavage sur les filtres lents on procède plutôt à un recyclage de couche supérieure, celle-ci doit être périodiquement rechargé pour maintenir la profondeur du filtrer. [5], [6]



**Fig.II.7. Filtration**

### II.2.6 La stérilisation

La stérilisation est une nécessité. Elle parachève la suite des opérations de coagulation, décantations, filtrations dont nous avons parlé précédemment et ne sont pas suffisamment efficaces pour la destruction du germe pathogène. Nous parlerons, dans ce suit, des méthodes de stérilisation les plus couramment employée, c'est --à--dire :

- ❖ La stérilisation au moyen de chlore gazeux.
- ❖ La stérilisation par l'hypochlorite de soude (eau de javel).

Et ses dérivés et la stérilisation par :

- ❖ L'ozone.
- ❖ Les rayons ultraviolets.
- ❖ Le chlore. [1]

### II.3 Conclusion

L'eau 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.

### Références bibliographiques

- [1] : Bouaouina .N, Slimani .H.Traitement et analyse des eaux pluviales du barrage de Hammam Debagh master : Université 8 Mai 1945 .2007.
- [2] : Graini .L . Contrôle de la pollution de l'eau par méthode acousto –optique .Applique, magister : Universitaire Ferhat Abbas –Sétif ,2007.
- [3] : Valentin .N .Construction d'un capteur logiciel pour le contrôle automatique du procédé de coagulation en traitement d'eau potable. Contrôle des systèmes. Doctorat .Centre International de recherche sur l'eau et l'environnement .2000.
- [4] : kettab .A. Traitement de l'eau (eau potable) .Edition : Office des publications universitaires .1992.
- [5] : Sengleton .P. Bactériologie : Pour la médecine, la biologie et les biotechnologies .6<sup>ème</sup> édition. Dunod, Réf : 590 P.
- [6] : Organisation Mondiale de la Santé .1994 : Directives de qualité pour l'eau de boisson. Voulume 2 : Critère d'hygiène et documentation a l'appui.
- [7] : Monod .I .Mémento technique de l'eau tome 2, neuvièmes éditions de cinquantaîne.
- [8] : Valiron .F. Gestion des eaux .Edition : Presses de l'école national des ponts et chaussés .1989.

La spectrométrie d'absorption atomique (SAA) est une technique décrite pour la 1<sup>ère</sup> fois par Walsh (1955).

La SAA étudie les absorptions de lumière par l'atome libre. C'est une des principales techniques mettant en jeu la spectroscopie atomique dans le domaine UV-visible utilisée en analyse chimique. Elle permet de doser une soixantaine d'éléments chimiques (métaux et non-métaux). Les applications sont nombreuses étant donné qu'on atteint couramment des concentrations inférieures au mg/L (ppm).

### **III.1 Principe de la méthode :**

L'absorption atomique est un processus qui se produit lorsqu'un atome appartenant à l'état fondamental passe à l'état excité par l'absorption d'une énergie, sous la forme d'un rayonnement électromagnétique, qui correspond à une longueur d'onde spécifique. [1]

Le principe en est simple : il s'agit donc obtenir des atomes à l'état fondamental, relier l'absorption causée par ces atomes à leur nombre et ensuite ce nombre à leur concentration dans la solution à doser.

Pour cela, un faisceau de lumière monochromatique de fréquence telle qu'il soit absorbable par l'élément à doser est envoyé dans une vapeur atomique de cet élément. La mesure de l'intensité lumineuse, avant et après le passage dans la vapeur atomique permet de déterminer le pourcentage d'absorption. Techniquement, cela se produit en deux étapes successives : l'atomisation qui permet d'obtenir des atomes libres et la mesure qui permet d'avoir la concentration de l'élément à doser.

En effet si l'on compare cette méthode à une colorimétrie classique suivant la loi de Beer Lambert on retrouve les mêmes éléments ; mais les difficultés sont plus grandes. Le milieu absorbant qui doit être produit par transformation du produit à doser ; n'est pas une solution liquide de concentration constante : mais un gaz dont la concentration est sujet à beaucoup plus de fluctuation.

En outre, les atomes peuvent exister dans cette vapeur à des niveaux d'énergie différentes ; et il faut que le plus grand nombre possible se trouve à un niveau compatible avec l'absorption c'est-à-dire au niveau fondamental.

L'absorption est un phénomène probabiliste et il faut avoir suffisamment de photons et d'absorbants pour pouvoir étudier le phénomène (et pour que les détecteurs fonctionnent). On peut remarquer que l'absorption est limitée par deux "bornes" : s'il n'y a pas d'espèces absorbantes, aucun photon ne sera absorbé et le milieu sera parfaitement transparent (quel que soit d'ailleurs les longueurs d'onde des photons). [2]

Si la concentration des espèces absorbantes devient infinie, plus aucun photon va arriver au détecteur et le milieu sera opaque, au moins dans les bandes d'absorption.

C'est pour cette raison que les absorptions ou les transmissions sont exprimées en pourcentage, le premier cas correspondant à une absorption de 0% (ou une transmission de 100%), le deuxième cas correspond quant à lui à une absorption de 100% (ou une transmission de 0%) dans la bande d'absorption.

Pour les cas intermédiaires, l'absorption va varier entre 0 et 100% suivant la concentration, mais suivant aussi la longueur d'onde des photons, l'absorption étant maximum (pour une concentration donnée) au maximum du profil d'absorption. Il convient également de rappeler que la lumière doit être assez rigoureusement monochromatique c'est-à-dire plus étroites que les profils d'absorption, et si possible centrés sur les maxima d'absorption où l'absorption est maximum pour une concentration donnée. L'intensité émise doit être constante, c'est-à-dire la source stable[3] Enfin il faut ; lors de la mesure de l'intensité lumineuse après absorption ; éliminer l'absorption due à la réémission des atomes excités ; mais aussi au spectre propre de la flamme. [4]

L'absorption atomique de flamme est une méthode qui permet de doser essentiellement les métaux en solution.

Cette méthode d'analyse élémentaire impose que la mesure soit faite à partir d'une analyse (élément à doser) transformé à l'état d'atomes libres. L'échantillon est porté à une température de 2000 à 3000 degrés pour que les combinaisons chimiques dans lesquelles les éléments sont engagés soient détruites.

La spectrométrie d'absorption atomique est basée sur la théorie de la quantification de l'énergie de l'atome. Celui-ci voit son énergie varier au cours d'un passage d'un de ses électrons d'une orbite électronique à une autre :

$$\Delta E = h\nu$$

H est la constante de Planck et. Généralement seuls les électrons externes de l'atome sont concernés.

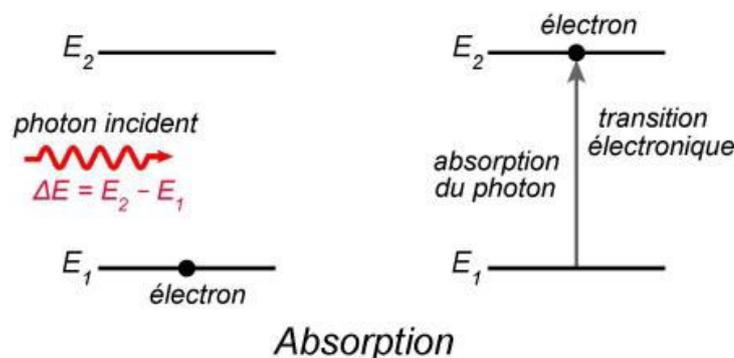


Fig.III.8. Absorption du photon

Les photons absorbés étant caractéristiques des éléments absorbants, et leur quantité étant proportionnelle au nombre d'atomes d'élément absorbant selon la loi de distribution de Boltzmann ; dans une génératrice d'atomes, on peut écrire que le nombre total d'atome libres  $N$  par unité de volume se répartit en  $N_b$  atomes neutres (à l'état fondamental) et  $N_h$  atome excités :

$$N = N_b + N_h$$

S'il y a équilibre thermodynamique dans la source d'atomes, la loi de répartition de Boltzmann s'applique et l'on peut écrire :  $\frac{N_h}{N_b} = \frac{G_h}{G_b} e^{\left(\frac{-\Delta E}{KT}\right)}$ ..... (\*)

Avec :  $\Delta E$  différences d'énergie entre les niveaux  $b$  et  $h$ ,  $G_b$  et  $G_h$  poids statistiques des niveaux  $b$  et  $h$

( $G = 2J + 1$ ,  $J$  étant le nombre quantique du moment cinétique total pour l'état d'énergie donné),

$K$  constantes de Boltzmann,

$N_b$  densité volumique d'atomes au niveau le plus bas (niveau fondamental),

$N_h$  densité volumique d'atomes au niveau excité  $h$ ,

$T$  température.

La relation (\*) peut prendre une forme légèrement plus compliqué lorsque le niveau inférieure appartient à un multiplet (Fe, Cu, Co, etc.

L'absorption permet de mesurer les concentrations des éléments à doser. L'analyse par absorption atomique utilise la loi de Beer Lambert.

$$A = \log (I_0 / I) = - \log T$$

L'absorbance peut donc s'écrire sous la forme :

$$A = \varepsilon \cdot \ell \cdot c$$

$A$  : est l'absorbance.

Où  $\varepsilon$  est appelé coefficient d'absorbance en  $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$

$\ell$  : est la longueur de la cuve en cm

$C$ : est la concentration es mol/L.

S'il y a plusieurs éléments à doser, on réalise cette manipulation pour chaque élément de l'échantillon en se plaçant à une longueur d'onde fixée. Il faut donc à chaque manipulation choisir une source adaptée pour éclairer l'élément que l'on cherche à exciter.

### III.2 Instrumentation de base :

Les instruments de base pour la spectrométrie d'absorption atomique comportent quatre parties principales :

- ❖ Le faisceau lumineux issu de la source (1)
- ❖ La chambre d'absorption (flamme ou four) (2) dans laquelle l'élément se trouve porté à l'état atomique.
- ❖ Monochromateur (3) qui sélectionne un intervalle très étroit de longueurs d'onde.
- ❖ Détecteur (4)

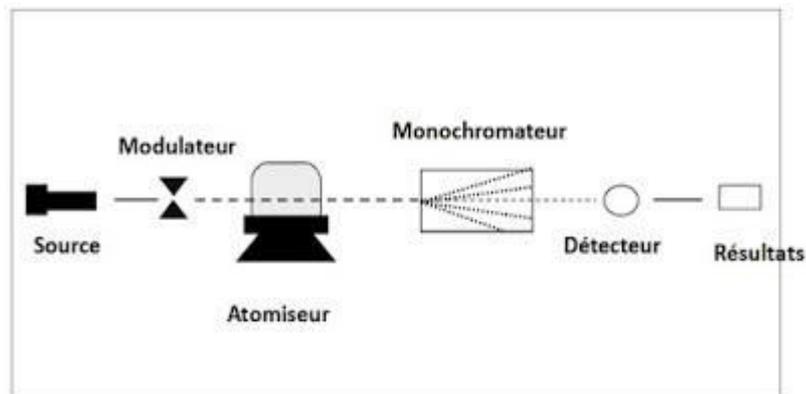


Fig.III.9. Les composants d'un spectromètre d'absorption atomique

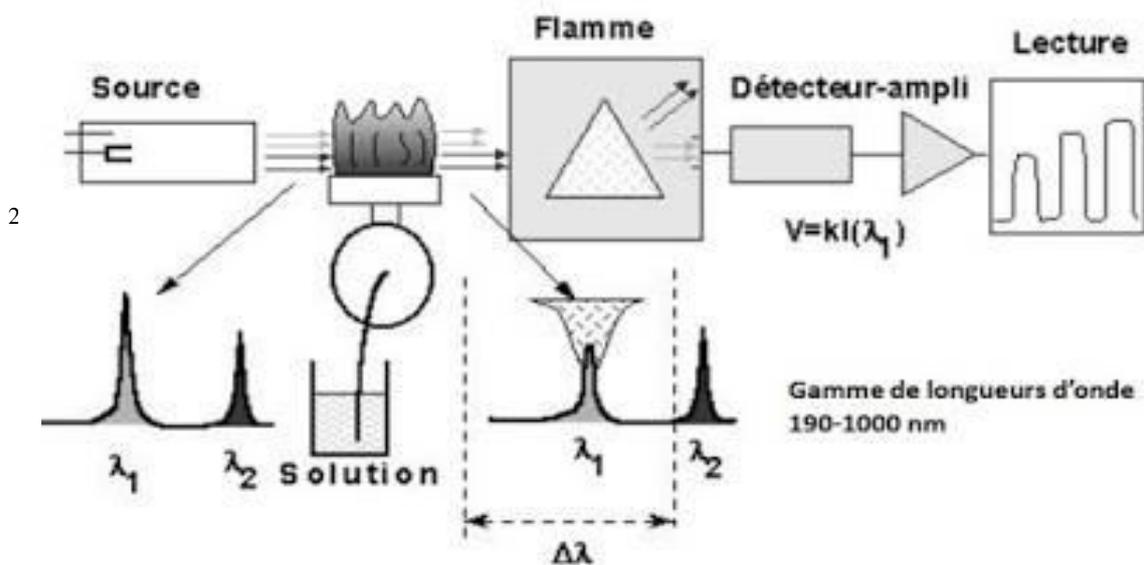


Fig.III.10. Les instruments de base pour la spectrométrie d'absorption atomique(20)

### III.3. Source lumineuse

C'est un organe essentiel car la mesure dépend en grande partie de ces caractéristiques. En effet l'intensité émise doit être aussi grande que possible car ce n'est qu'une fois le flux de photons est suffisamment important que la probabilité de rencontre avec un atome est suffisamment grande pour espérer une mesure quantitative [5].

On utilise en spectrométrie deux types de sources :

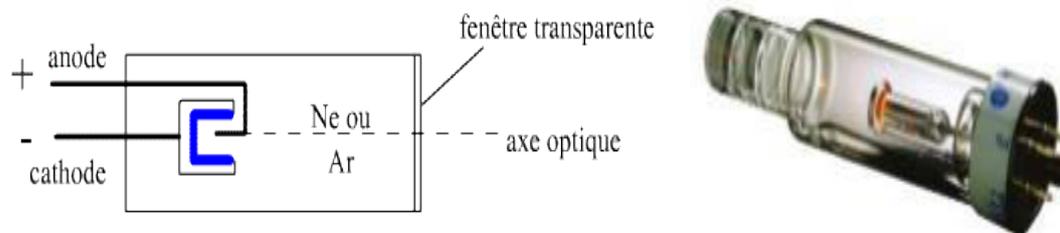
- ❖ Lampe à cathode creuse (la plus répandue)
- ❖ Lampe EDL

#### a. Lampe cathode creuse

La lampe à cathode creuse est une source discontinue émettant des raies fines caractéristiques des atomes constituant la cathode.

Généralement la cathode est mono élément, ce qui impose une lampe par élément à doser, bien que quelques lampes multiéléments soient commercialisées, avec un risque de durée de vie raccourcie.

La sélectivité de la lampe mono élément permet cependant de limiter les risques d'interférences spectrales.



**Fig.III.11. Lampe cathode creuse**

La lampe EDL (Electrodeless Discharge Lamp) est utilisée pour des éléments comme l'aluminium, l'arsenic, le bismuth, le cadmium, le césium, le mercure, le phosphore ou le zinc.

Une petite quantité d'un de ces éléments, sous forme de sel, voire de combinaison avec un ou plusieurs autres éléments, est placée dans un bulbe de quartz contenant un gaz inerte. Le bulbe est placé dans un cylindre en céramique entouré par une bobine. Lorsque le courant passe dans la bobine, un champ se crée, ionise le gaz inerte et excite les atomes se trouvant à l'intérieur du bulbe, atomes qui émettent alors leur spectre caractéristique. [3]

**III.3.1 Chambre d'absorption :**

Les cellules d'absorption les plus utilisées en spectrométrie sont la flamme et le four graphite qui sont capables, à partir d'éléments présents en solution, de fournir des atomes libres en proportion suffisante pour utiliser la technique d'absorption[1]

**III. 3.1.1. La flamme :**

Quand on utilise la flamme, on nébulise la solution grâce à un capillaire et un venturi qui fournit un fin aérosol de la solution (gouttelettes de quelques microns de diamètre), entraîné dans la flamme par les gaz qui l'alimentent. Il faut noter que seulement quelques pour-cent de la solution se retrouvent dans la flamme et qu'après des phénomènes complexes de vaporisation, dissociation, recombinaison, on obtient une proportion plus ou moins forte d'atomes libres susceptibles d'absorber le rayonnement. C'est pour cela que l'on est obligé de préparer des étalons ayant composition (une matrice) aussi voisine que possible que celle des échantillons afin de maîtriser au mieux les phénomènes physico-chimiques (nébulisation, vaporisation, réactions chimiques) qui interviennent dans l'obtention des atomes libres à l'état fondamental. [3]

**a. Atomisation par nébulisation :**

Dans une flamme Un ensemble mécanique robuste, appelé brûleur, alimenté par un mélange gazeux combustible/comburant, produit une flamme dont la base s'inscrit dans un rectangle de 10 cm de longueur et de 1 mm de largeur. L'axe optique de l'appareil est aligné dans sa plus grande dimension avec la flamme l'échantillon mis en solution aqueuse est aspiré et nébulisé dans ce mélange gazeux. [5]

**III.3.1.2 Le four graphite :**

Le four est muni d'un bras robotisé qui est utilisé pour réaliser automatiquement l'ensemble des mesures grâce à la plateforme tournante. Ce bras, appelé « passeur », est équipé d'un capillaire très fin qui permet de prélever d'infimes quantités des échantillons (de l'ordre de quelques  $\mu\text{l}$ ). Lors d'une mesure le passeur effectue d'abord un rinçage du capillaire avec le blanc, puis se déplace pour prélever l'échantillon à tester. La petite goutte de liquide prélevée est ensuite déposée dans une petite cuve en graphite : c'est le four [6]

**a. Atomisation électrothermique :**

Le dispositif précédent avec flamme et nébuliseur est remplacé par un four graphite composé d'un tube en carbone graphite comportant une petite nacelle destinée à recevoir une quantité d'échantillon de quelques mg ou  $\mu\text{l}$  connue avec précision. Ce tube, dont l'axe central se superpose à l'axe optique du spectrophotomètre, fait office de résistance électrique. Il est susceptible d'atteindre, par effet Joule, plus de 3 000 K [2]

**b. Fonctionnement du four :**

Le four est composé de graphite et agit comme une résistance, c'est-à-dire qu'un courant parcourt la cuve et la température augmente dans celle-ci par effet Joule. Au cours de la première étape, le séchage, une grande partie du solvant est éliminé, ce qui permet de ne conserver que l'échantillon « brut » à doser. Cette opération est réalisée à environ 100°C. Au cours de la seconde étape, la décomposition, le four est porté à une température encore plus élevée (800°C), ce qui permet d'éviter les effets de matrice en décomposant les restes de solvant. Les effets de matrice représentent l'influence de l'environnement, ici le solvant, sur la mesure : on pourrait obtenir des résultats différents pour des échantillons de même concentration mais avec des solvants différents. Cette étape est donc primordiale pour l'analyse. Il convient évidemment de vérifier que la température de décomposition est bien inférieure à la température d'ébullition de l'espèce à doser (1750°C pour le Plomb) sans quoi nous pourrions perdre une partie de l'échantillon.

Pendant l'atomisation, le four passe à une température de 1200°C en moins d'une seconde. Grâce à ce changement brusque de température, les liaisons entre les atomes des différentes molécules présentes dans l'échantillon se cassent, ce qui permet d'obtenir un gaz atomique. C'est grâce à ce gaz que les mesures d'absorbance vont être réalisées. Cela est possible par l'utilisation d'un gaz rare, l'argon, qui « place » le gaz produit sur le chemin optique de l'appareil.

Enfin, lors de la dernière étape, la pyrolyse, les restes de l'échantillon calciné sont éliminés grâce à une dernière augmentation de la température jusqu'à 2700°C. Cette étape permet de réaliser de nouvelles mesures sans contaminer la cuve par un nettoyage manuel. Le tube en graphite revient ensuite à la température ambiante grâce à un système de refroidissement à eau[6]

**III.3.2 Monochromateur :**

Le faisceau incident (source émise) est un spectre de raies qui contient : les raies de l'élément à doser et les raies du gaz de remplissage, les raies d'éventuelles impuretés ainsi que les raies de l'atomiseur (flamme) par conséquent, c'est une lumière polychromatique. Le rôle du monochromateur consiste à éliminer toute la lumière, quelle que soit son origine, ayant une longueur d'onde différente de celle à laquelle on travaille pour avoir un faisceau monochromatique. [1]

**A. Détecteur et dispositif de mesure :**

Dans les méthodes physiques d'analyse, l'appareil utilisé fournit un résultat qui sera le plus souvent un signal électrique représentatif de la grandeur à mesurer : le détecteur est donc un "transformateur" qui fournit un courant ou une tension à partir d'une caractéristique physicochimique.

En spectrophotométrie d'absorption, la grandeur physique observée est le flux lumineux reçu par un détecteur de photons. Il existe trois types de détecteurs :

- ❖ Les détecteurs thermiques
- ❖ Les détecteurs pyro électriques
- ❖ Le photomultiplicateur. [1]

### III.4 Difficultés analytiques et résolution des problèmes analytiques en SAA

#### III.4.1 Difficultés analytiques :

Il existe des phénomènes pouvant perturber la mesure des intensités notamment la présence de particules (diffusion, turbidité), la présence d'autres constituants ayant une absorption à la longueur d'onde de travail (interférences), la dérive d'intensité  $I_0$  de la source...etc. En effet, ces interférences peuvent être de type spectral, chimique ou physique.

##### A. Interférences spectrales :

Le dispositif à four graphite peut conduire à une émission parasite due aux parois du tube. Les composés de la matrice peuvent conduire également à des absorptions annexes. On n'est donc jamais à l'abri de la superposition de deux radiations : celle choisie pour le dosage avec une raie secondaire appartenant à un autre élément. En absorption atomique, les confusions sont rares, mais il est quelquefois conseillé d'effectuer une seconde mesure en changeant la longueur d'onde. [1]

Il existe ainsi un certain nombre de phénomènes ayant leur siège dans la source d'atomisation et affectant la mesure spectrale d'absorbance de l'analyte :

- ❖ Par superposition (chevauchement) de raies
- ❖ Par la présence de bandes d'absorption moléculaire.
- ❖ Par la diffusion de la lumière incidente sur des particules solides ou liquides présentes dans l'atomiseur. [1]

##### B. Interférences chimiques (effets de matrice) :

Les interférences chimiques résultent des modifications, dans la source d'atomisation, des processus de dissociation, d'oxydoréduction ou d'ionisation. Elles altèrent la densité de vapeur atomique ou sa vitesse de formation.

La plupart des analyses biologiques cliniques s'appuient sur l'analyse d'échantillons tels que le sang, le sérum, le plasma, liquide céphalo-rachidien, liquide synovial et l'urine. Cependant, une forte concentration des constituants inorganiques peuvent provoquer des interférences matricielles et/ou spectrales. De plus, la matrice biologique peut altérer l'appareil après une utilisation prolongée. Ces effets sont particulièrement observés pour les échantillons de sang total. Par conséquent, la majorité des procédures impliquent une digestion avec des mélanges d'oxydation acide pour éliminer la matrice organique avant l'analyse instrumentale. Cependant, cette approche est complexe et augmente le risque de contamination de l'échantillon. En outre, en raison de la dilution de l'échantillon, la limite de détection est plus élevée. L'introduction du four à graphite (GF) au spectromètre d'absorption atomique comme atomiseur donne l'occasion d'une analyse directe des échantillons biologiques car ils sont

fournis dans Tube de graphite sans nébulisation et donc, l'étape de minéralisation n'est pas nécessaire.

Bien que (SAA FG) ait été utilisé pour l'analyse directe des traces de sérum humain, de plasma et d'urine, le nombre de publications concernant les échantillons de sang total est limité, principalement parce que les résidus de la matrice riche sont difficiles à éliminer et diminuent la durée de vie du tube en graphite.

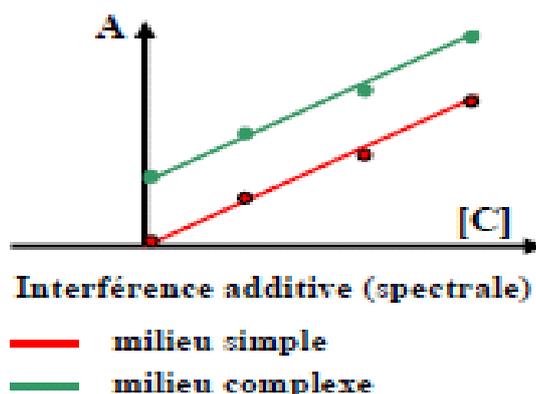


Fig.III.12. Interférence chimique

### C. Interférences physiques (interférences de transport)

Les interférences physiques sont généralement liées aux propriétés physiques des solutions étudiées (changement de viscosité entre les étalons et les échantillons). [1]

#### III.4.2 Résolution des difficultés

##### III.4.2.1 Modifications technologiques de l'équipement

La mesure d'absorption spécifique à un élément peut être perturbée par des absorptions non spécifiques et différentes interactions qui peuvent être corrigées ou compensées par différentes méthodes. [1]

Des modifications supplémentaires de l'équipement, par exemple, une lampe au xénon à haute pression fournissant un haute intensité de rayonnement dans la gamme UV-Vis en tant que source d'excitation, un double monochromateur avec un pré-monochromateur de prisme et un monochromateur de grille échelle pour haute résolution et le dispositif de couplage de charge (CCD) en tant que détecteur ont amélioré la sensibilité, la stabilité et la linéarité du signal analytique, augmentant de manière significative le potentiel d'application de la source de continuum haute résolution (HR-CS) (SAA FG) dans l'analyse des traces.

Le meilleur Avantage de HR-CS SAA FG par rapport aux instruments traditionnels de source de ligne (LS), est la capacité de correction d'arrière-plan (BC) qui est effectuée mathématiquement en utilisant des spectres HR. Il peut traiter une absorbance d'arrière-plan

plus élevée (non spécifique) que d'autres techniques BC utilisés dans SAA FG comme deutérium BC et Zeeman-effet BC.

Jusqu'à présent, cette technique a été appliquée pour l'analyse directe des aliments des Echantillons de plantes et échantillons environnementaux.[7]

### **Correction des interférences spectrales (Correction de fond pour la SAA) :**

La correction de fond est souvent nécessaire pour les éléments ayant des raies de résonance appartenant à la région ultraviolet lointain et est essentielle pour atteindre une grande précision dans la détermination des faibles concentrations d'éléments dans des matrices complexes.(20) échantillons de plantes et échantillons environnementaux. [7]

#### **A. Correcteur au deutérium :**

Les modèles utilisant ce mode de correction comportent une seconde source, continue, constituée par une lampe à deutérium. Les mesures reposent sur l'emploi d'un miroir tournant.

On commence d'abord par régler le monochromateur sur la raie choisie pour le dosage de l'élément à évaluer. Quand la lampe à deutérium est sélectionnée, sachant que l'échantillon est nébulisé dans la flamme, on évalue pratiquement le seul fond d'absorption car la bande passante est une centaine de fois plus large que la raie d'absorption choisie.

Quand la lampe à cathode creuse est sélectionnée, on mesure cette fois l'absorbance totale (fond d'absorption et absorption de l'analyte. Les absorbances étant additives, la différence entre les deux mesures permet de connaître l'absorption due au seul élément. [5]

#### **B. Correcteur par effet Zeeman**

D'autre part, pour certains éléments la détermination par SAA-ET est source de difficultés non négligeables et les faibles teneurs urinaires, la matrice très chargée en sels minéraux, nécessitent souvent le recours à un appareillage muni d'une correction de fond par effet Zeeman. Il permet de corriger l'absorbance non spécifiques, en particulier en absorption atomique électrothermique.

C'est le phénomène de décomposition des raies spectrales que l'on observe lorsqu'un rayonnement est émis ou absorbé par des atomes ou des molécules placés dans un champ magnétique. Les raies d'émission (ou d'absorption) du spectre sont « divisées » en multiplets à répartition symétrique par rapport à la fréquence de la raie pour laquelle le champ magnétique est nul.

Un champ magnétique modulé (à la fréquence de l'amplificateur de mesure) est appliqué à la source d'atomisation perpendiculairement au flux émis par la source d'émission (effet Zeeman inverse + effet Zeeman transversal). Le flux issu de la source d'atomisation est polarisé à l'aide d'un polariseur fixe. Le récepteur reçoit, en l'absence du champ, la radiation totale  $\lambda$  qui permet la mesure de l'absorbance totale, et lorsque le champ est établi, les radiations  $\sigma$  permettent de mesurer l'absorbance non spécifique. [5]

### III.4.2.2 Correction des interférences physiques :

Par vérification de la viscosité de la solution à analyser on s'assure de la similitude de composition (solvant, concentration en acide, teneur en sels...) Entre les solutions d'étalonnage et d'échantillons.

Ne pas confondre la nébulisation des échantillons en solution organique aux étalons aqueux.

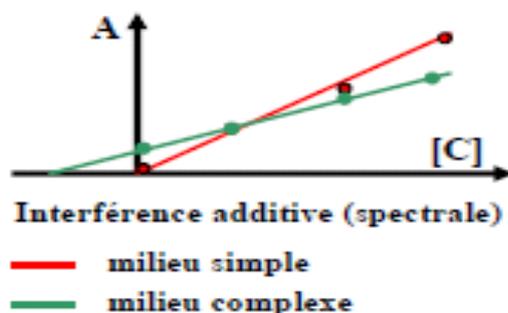


Fig.III.13. Interférence physique

### III.4.2.3 Correction des interférences chimiques

Dans ce cas d'une combinaison de l'atome, les remèdes généraux consistent à employer, soit des flammes plus réductrices ou plus chaudes, soit un correcteur d'interaction (le calcium

est libéré par addition de lanthane). Pour éviter la formation des carbures dans le système sans flamme, on peut utiliser des fours avec revêtement pyrolytique ou les traiter à l'hydroxyde de tantale (ces traitements sont en particulier recommandés pour le dosage de l'étain).

On peut aussi faire l'économie de ces artifices qui permettent de supprimer les interactions de type chimique en soumettant l'échantillon à analyser à un traitement préliminaire : séparation sur résines, extraction par solvant, ...etc.

Il existe un grand nombre de recettes pour modifier la matrice d'un échantillon, pour chaque cas sa solution. [1]

## III.5 Dosage par absorption atomique

La courbe d'étalonnage est déterminée de deux manières différentes :

- ❖ **Etalonnage direct** → matrice simple (un seul élément à doser).
- ❖ **Méthode des ajouts dosés** → matrice complexe ou inconnue.
- ❖ s'assurer de la similitude de composition (solvant, concentration en acide, teneur en sels...) Entre les solutions d'étalonnage et d'échantillons.
- ❖ Ne pas comparer des échantillons en solution organique à des étalons aqueux.

### III.6 Quelques applications

La spectrophotométrie d'absorption atomique est essentiellement une méthode d'analyse quantitative qui convient beaucoup mieux à la détermination des traces qu'à celle des composants majeurs. La spectrométrie d'absorption atomique permet le dosage de nombreux matériaux inorganiques (roches et minerais, métaux et alliages...). Elle est donc très adaptée à l'étude du matériel archéologique. Elle permet aussi de quantifier les éléments métalliques en solutions (Gestion des déchets). Citons quelques exemples :

- ❖ l'analyse des constituants majeurs et mineurs de céramiques archéologiques
- ❖ le dosage du Ca, Sr, Zn dans les os
- ❖ l'analyse des éléments traces pour identification des pierres
- ❖ la dégradation des verres
- ❖ dosage des particules métalliques (Cu, Fe...) Dans le papier
- ❖ l'analyse des eaux
- ❖ l'analyse des tissus végétaux et animaux, des liquides biologiques
- ❖ l'analyse des aliments et boissons,
- ❖ l'analyse des sols, engrais et sédiments
- ❖ l'analyse des produits industriels . [8]

**Avantages** : haute sensibilité, grande spécificité, rapidité, faible quantité de substance nécessaire (1 ml de la solution peut suffire) et facilité de préparation des solutions étalons.

**Inconvénients** : nécessité d'utiliser pour chaque élément à doser une source caractéristique, technique d'analyse destructrice, domaine d'application limité presque exclusivement aux métaux (Cu, Zn, Pb, Cr, Fe, Cd, etc...), nécessité d'avoir des concentrations assez faibles. [8]

**Référence bibliographique**

- [1] : Bendada.K, Boulakradeche.M W. Optimisation des conditions de dosage par spectroscopie d'absorption atomique (SAAF et SAAET) : Application à la détermination de la pollution et de la bioaccumulation des métaux lourds : Université des sciences et de la Technologie Houari Boumediene (U.S.T.H.B); 2011.
- [2] : Hammon.M, Pellerin.F, Guernet.M, Mahuzier.G. Méthodes spectrales et analyse chimique. Chimie analytique. 1990.
- [3] : Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation spectrométrie d'absorption atomique. Axe " Génie des Procédés", centre SPIN, Ecole des Mines de Saint-Etienne.
- [4] : M.hamoun.Fpellerin. Chimie analytique tome 3 méthodes spectrales et analyses organiques 1979/1990.
- [5] : Rouessac F, Rouessac A. Analyse chimique méthodes et techniques instrumentales modernes. Dunod, Paris. 2004.
- [6] : Bai.Y, Pinchard.M, SAMSON.M, SAMSON.T. Recherche et dosage d'éléments lourds dans des sols par absorption atomique au four. Institut national des sciences appliquées de ROUEN. 2014 ; 37.
- [7] : Wojciak-Kosior M, Szwerc W, Strzemski M, Wichlacz Z, Sawicki J, Kocjan R, et al. Optimization of high-resolution continuum source graphite furnace atomic absorption spectrometry for direct analysis of selected trace elements in whole blood samples. Talanta. 2017 ; 165:351-6.
- [8] : Jacques VANDEGANS, Anne-Marie de KERSABIEC, Michel HOENIG. Techniques de l'ingénieur. Spectrométrie d'absorption atomique Réf : P2825 v2. Mars 1997

Un métal est un élément chimique, issu le plus souvent d'un minerai ou d'un autre métal, doté d'un éclat particulier, bon conducteur de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, se combinant ainsi aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisables dans l'industrie et ce depuis l'antiquité. On appelle en général métaux lourds les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas metalloïdes (environ 65 éléments), caractérisés par une forte masse volumique qui est supérieure à 5g par cm<sup>3</sup>.

### **IV.1. Origines Naturelles et humaines des métaux lourds dans l'environnement**

Les métaux lourds sont redistribués naturellement dans l'environnement par les processus géologiques et les cycles biologiques.

Les activités industrielles et technologiques diminuent cependant le temps de résidence des métaux dans les roches, ils forment de nouveaux composés métalliques, introduisent les métaux dans l'atmosphère par la combustion de produits fossilifères.

Il faut différencier la part qui résulte de la contamination d'origine humaine (anthropogène) et la part naturelle (géogène) [01].

#### **IV.1.1 Les sources naturelles**

Parmi les importantes sources naturelles, citons l'activité volcanique, l'altération des continents et les incendies de forêts. La contribution des volcans peut se présenter sous forme d'émissions volumineuses dues à une activité explosive, ou d'émissions continues de faible volume, résultant notamment de l'activité géothermique et du dégazage du magma [02].

#### **IV.1.2 Les sources anthropiques**

Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait des risques très supérieurs aux métaux d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes. Les sources anthropogènes sont les suivantes :

- ❖ Activités pétrochimiques ;
- ❖ Utilisation de combustibles fossiles (centrales électriques au charbon, chaudières industrielles, fours à ciment) ;
- ❖ Transport (véhicules et moteurs routiers et non routiers, embarcations);
- ❖ Incinération de déchets ;
- ❖ Produits (électriques, amalgames dentaires, éclairages fluorescents);
- ❖ Déchets urbains (eaux usées, boues d'épuration, ordures ménagères), agricoles.

Le tableau I.4 présente quelques exemples de sources industrielles et agricoles d'où peuvent provenir les métaux présents dans l'environnement [3].

Tableau.IV.2 Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement

Utilisations	Métaux
<b>Batteries et autres appareils électriques</b>	Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Ni,
<b>Pigments et peintures</b>	Ti, Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Sn, Cr, Al, As, Cu,
<b>Alliages et soudures</b>	Fe
<b>Biocides (pesticides, herbicides)</b>	Cd, As, Pb, Zn, Mn, Sn, Ni, Cu
<b>Agents de catalyse</b>	As, Hg, Pb, Cu, Sn, Zn, Mn
<b>Verre</b>	Ni, Hg, Pb, Cu, Sn
<b>Engrais</b>	As, Sn, Mn
<b>Matières plastiques</b>	Cd, Hg, Pb, Al, As, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn
<b>Produits dentaires et cosmétiques</b>	Cd, Sn, Pb
<b>Textiles</b>	Sn, Hg
<b>Raffineries</b>	Cr, Fe, Al
<b>Carburants</b>	Ni, V, Pb, Fe, Mn, Zn
	Ni, Hg, Cu, Fe, Mn, Pb, Cd

#### IV.2 Propriétés et toxicité des métaux lourds

Les métaux sont généralement séparés en deux catégories selon leur caractère essentiel ou non pour les êtres vivants. En effet, ils peuvent s'avérer indispensables au déroulement des processus biologiques (oligo-éléments), c'est le cas du Fer (Fe), du Cuivre (Cu) et du Zinc (Zn).

Dans ce cas, leurs concentrations dans les organismes doivent répondre aux besoins métaboliques de ces derniers. Dans le cas contraire, une carence ou un excès de ces éléments essentiels peut induire des effets délétères.

D'autres ne sont pas nécessaires à la vie, et peuvent être même préjudiciables comme le Mercure (Hg), le Plomb (Pb), le Cadmium (Cd) et l'Antimoine (Sb).

Dans la présente étude cinq métaux ont été étudiés en particulier : le Cadmium, le Cuivre, le Fer, le plomb, et le Zinc.[4]

- **Cadmium (Cd)**

Le Cadmium à une grande résistance à la corrosion, son point de fusion est bas ; il a une bonne conductivité de l'électricité ; ses produits dérivés ont une bonne résistance aux fortes températures ; il présente des caractéristiques chimiques proches de celles du Calcium, en particulier le rayon ionique, facilitant ainsi sa pénétration dans les organismes.

Les activités industrielles telles que le raffinage des métaux non ferreux, la combustion du charbon et des produits pétroliers, les incinérateurs d'ordures ménagères et la métallurgie de l'acier constituent les principales sources de rejet du Cadmium dans l'atmosphère. Dans l'eau, le Cadmium provient de l'érosion naturelle, du lessivage des sols (engrais phosphatés) ainsi que des décharges industrielles et du traitement des effluents industriels et des mines.

Le Cadmium fait également partie des métaux lourds les plus dangereux. Même à de faibles concentrations, il tend à s'accumuler dans le cortex rénal sur de très longues périodes (50 ans) où il entraîne une perte anormale de protéines par les urines (protéinurie) et provoque des dysfonctionnements urinaires chez les personnes âgées. [5]

- **Cuivre (Cu)**

Le Cuivre est l'un des métaux les plus employés à cause de ses propriétés physiques et particulièrement de sa conductibilité électrique et thermique. Il est très largement employé dans la fabrication de matériels électriques (fils, enroulements de moteurs, dynamos, transformateurs), dans la plomberie, dans les équipements industriels, dans l'automobile et en chaudronnerie. Le cuivre est présent dans l'environnement, sa concentration dans l'écorce terrestre est estimée à environ 70 ppm (30 à 100 ppm).

Le transport par le vent, des poussières, de sol, les éruptions volcaniques, les décompositions végétales, les feux de forêts et les aérosols constituent les principales sources naturelles d'exposition. Dans les eaux, le cuivre provient pour la majeure partie de l'érosion des sols par les cours d'eau : 68 % ; de la contamination par le sulfate de cuivre : 13 % ; et des rejets d'eaux usées qui contiennent encore du cuivre, même après traitement.

Le cuivre est un élément essentiel chez l'homme et l'animal (oligo-élément), impliqué dans de nombreuses voies métaboliques, notamment pour la formation d'hémoglobine et la maturation des polynucléaires neutrophiles. De plus, il est un cofacteur spécifique de nombreuses enzymes et métalloprotéines de structure. Cependant le cuivre en excès produit des radicaux libres responsables de lésions cellulaires au niveau de l'ADN et d'organites tels que les mitochondries ou les lysosomes.[4]

- **Fer (Fe)**

Le fer est un métal essentiel, entre dans la composition de nombreux alliages dont les aciers inoxydables. Il est utilisé dans les machines et ustensiles divers utilisés quotidiennement ainsi que dans les infrastructures du monde moderne. Le fer est classé au quatrième rang des éléments de la croûte terrestre par ordre d'abondance, sa présence dans l'eau peut avoir diverses origines : lessivage des terrains avec dissolution des roches et des minerais contenus dans le sous-sol ; rejets industriels (pollutions minières, métallurgiques, sidérurgiques) ; corrosion des canalisations métalliques (en fonte ou en acier) ou existence de dépôts antérieurs.

La régulation du fer dans le sang est contrôlée par deux protéines d'absorption et d'exportation. La carence ou l'excès en fer peut être potentiellement toxique pour les cellules, c'est pourquoi son transport est rigoureusement contrôlé. Un faible niveau de fer chez l'homme cause l'anémie, l'un des problèmes de santé publique les plus répandus qui peut être imputable à des causes d'ordre nutritionnel, notamment la carence en fer, à des troubles inflammatoires ou infectieux et à des pertes de sang.

Le mécanisme toxique principal du Fer réside dans sa capacité à induire la formation de radicaux libres, avec, pour conséquence, une peroxydation lipidique. Classiquement,

L'intoxication au fer est décrite comme évoluant en cinq phases : troubles digestifs, amélioration clinique transitoire, toxicité systémique avec choc, acidose métabolique, coma, toxicité hépatique avec coagulopathie, séquelles digestives à type de sténose. Le traitement comporte, hormis le traitement symptomatique, la décontamination digestive avec irrigation intestinale et traitement chélateur par déféroxamine.

L'exposition chronique au Fer est principalement d'origine professionnelle et se traduit par une pneumoconiose de surcharge consécutive à l'inhalation de poussières et d'oxydes de fer.

La sidérose oculaire est une pathologie chronique grave pouvant aboutir à la perte de la vision de l'œil touché. Elle survient lorsqu'un corps étranger contenant du fer se retrouve dans l'œil ou à son contact.[5]

- **Zinc (Zn)**

Le cuivre et le zinc sont des métaux essentiels indispensables à la vie. Ils sont nécessaires en quantité généralement faible, à la vie d'un grand nombre d'organismes. L'accumulation du cuivre et du zinc est donc régulée pour de nombreuses espèces aquatiques, par exemple chez les mollusques, les crustacés, les poissons et les mammifères (Chong et Wang, 2001). Les entrées de cuivre et de zinc se font préférentiellement sous forme ionique ( $\text{Cu}^{2+}$  et  $\text{Zn}^{2+}$ ) par des protéines de transport membranaire (Sunda et Huntsman, 1998). Les bivalves accumulent ces deux métaux principalement dans l'hépatopancréas, les gonades et les branchies (Adamietal, 2002).

Le zinc peut s'accumuler dans les organismes aquatiques mais les valeurs de FBC décroissent en montant dans la chaîne trophique. Cela peut s'expliquer par une régulation plus importante dans les organismes « supérieurs ». En conséquence, il semble que le potentiel de bio-magnification soit faible.

Les caractéristiques physico-chimiques du milieu agissent sur le degré de dissolution entre les formes métalliques et ioniques. Le cuivre complexe est moins toxique que le cuivre à l'état ionique. La valeur guide pour l'eau de boisson est de 1,0 mg/l, principalement pour prévenir des utilisations domestiques projetées de l'eau plutôt qu'en rapport avec des risques sanitaires (OMS, 1984).[6]

- **plomb (Pb)**

Le plomb est un métal gris bleuâtre possédant 20 isotopes dont quatre sont naturels.

C'est un élément très présent dans l'écorce terrestre, il s'y retrouve sous forme de minerai et il est souvent lié à l'argent et au zinc, les principaux minerais du plomb sont la galène (composé de sulfure de plomb), la cérusite (composé de carbonate naturel de plomb) et l'anglésite (composé de sulfate naturel de plomb).

L'ingestion d'aliments contaminés est considérée comme l'une des voies principales d'exposition au plomb, ce métal est une substance qui s'accumule dans les os et les tissus mous, Une exposition à de faibles doses de plomb peut avoir certains effets sur le développement intellectuel et le comportement des enfants.

D'après Nolasco (2013), une exposition à des taux élevés de plomb peut notamment causer des maladies rénales, des retards mentaux, de l'anémie et des problèmes de reproduction. Selon le même auteur, une exposition chronique au plomb peut avoir des effets cardiovasculaires négatifs sur l'humain, il s'avère aussi cancérigène.[4]

### **IV.3 Effets des métaux lourds sur l'environnement et sur l'homme**

Les métaux lourds sont dangereux pour l'environnement car, ils ne sont pas dégradables. Ils s'accumulent au cours de processus minéraux et biologiques. Les métaux lourds peuvent également être absorbés directement par le biais de la chaîne alimentaire entraînant alors des effets chroniques ou aigus.

#### **IV.3.1 Effets sur l'environnement**

Les écosystèmes sont constitués de deux secteurs étroitement imbriqués qui déterminent leur structure, leur fonctionnement et leur évolution : [7]

- ❖ La nature des biotopes terrestres conditionne le comportement, le devenir, la biodisponibilité et donc les effets toxiques des métaux lourds, et influence considérablement la présence et l'activité des populations.
- ❖ La biocénose qui réunit l'ensemble des populations vivant au sein d'un même biotope selon un état d'équilibre dynamique faisant intervenir des relations nutritionnelles et énergétiques complexes entre elles et entre le biotope.

L'identification des dangers de métaux lourds s'appuie sur les tests écotoxicologiques terrestres et aquatiques qui couvrent des populations de niveaux trophiques différents.

Les essais réalisés sur des insectes pollinisateurs (*Apis mellifica*), des oiseaux (*Coturnix japonica*, *Colinus virginianus*, *Anas platyrhynchos*) ou des mammifères estiment l'inhibition de la germination, de la croissance des plantes ou de la reproduction des animaux. Ces effets atteignent l'homme à travers la chaîne alimentaire [8].

##### **IV.3.1.1 Contamination des sols**

Le sol est un support de nombreuses activités humaines (industrialisation, urbanisation, agriculture), son rôle clef en matière d'environnement a été reconnu récemment : il intervient comme réacteur, récepteur, accumulateur et filtre des pollutions [9].

##### **IV.3.1.2 Contamination de l'air**

Les principales sources de métaux dans l'air sont des sources fixes. De nombreux éléments se trouvent à l'état de traces dans des particules atmosphériques provenant de

combustions à haute température, de fusions métallurgiques, des incinérateurs municipaux, des véhicules, etc. les effets biologiques, physiques et chimiques de ces particules sont fonction de la taille des particules, de leur concentration et de leur composition, le paramètre le plus effectif sur l'environnement étant la taille de ces particules. Dans l'air ambiant, on trouve de nombreux éléments, comme le plomb, le cadmium, le zinc, le cuivre, etc., dont la concentration est d'autant plus élevée que les particules sont fines. [10]

#### **IV.3.1.3 Contamination de l'eau**

Il est assez difficile de prévoir l'évolution des métaux dans l'environnement, car ils peuvent subir un grand nombre de transformations (oxydation, réduction, complexation, etc...), et de plus cette évolution dépend fortement du milieu. En effet, la migration des métaux lourds vers la nappe phréatique est fonction de nombreux paramètres qui sont :

- ❖ La forme chimique initiale du métal ;
- ❖ La perméabilité du sol et du sous-sol ;
- ❖ La porosité du sol ;
- ❖ Le pH : dans un milieu acide, les métaux risquent de se solubiliser, alors que dans un milieu alcalin, ils peuvent former des hydroxydes métalliques ;
- ❖ L'activité biologique : certains micro-organismes ont la capacité d'intégrer des métaux, alors que d'autres les solubilisent par acidogènes ;
- ❖ Le potentiel redox du sol ;
- ❖ La composition minéralogique du sol : (complexation des métaux par les substances humiques).[11]

#### **IV.3.2 Effets sur la santé**

Pour l'homme, la problématique des métaux lourds est majeure car elle affecte toutes les caractéristiques de la vie. En effet, la cellule est l'unité biologique fondamentale la plus petite or les métaux lourds peuvent entraîner sa dégénérescence. Certains d'entre eux sont cancérogènes, il peut donc y avoir atteinte de l'entité élémentaire de la vie.

Les métaux lourds peuvent entraîner chez l'homme des pathologies touchant à son intégrité physique et mentale. Il n'est alors plus capable de réagir et de s'adapter aux diverses situations. Les métaux lourds peuvent s'accumuler au sein de l'organisme et donc perturber son organisation interne. Certains d'entre eux ont des effets tératogènes et d'autres peuvent entraîner des troubles de la fécondité. Comme nous le voyons donc, chaque fonction fondamentale et vitale de l'homme est mise en danger par la présence des métaux lourds dans son environnement. Le tableau I.3 regroupe les effets de certains métaux lourds sur la santé[12].

#### **IV.4. Conclusion**

Les métaux lourds sont des polluants engendrés par l'activité humaine et ont un fort impact toxicologique sur les végétaux, les produits de consommation courante et sur l'homme.

Il a été nécessaire de réglementer les teneurs en métaux lourds des eaux destinées à la consommation, mais aussi des rejets industriels. La problématique des métaux lourds repose sur le fait qu'ils sont très utiles, voire indispensables à l'homme. En effet, de par leurs propriétés, ils entrent dans la composition d'une grande variété de produits. Il semble donc assez difficile de s'en passer et de les substituer.

**Référence bibliographique**

- [1] : Zerki .L. Apport de la chimie pour l'analyse et l'interprétation de quelques paramètres physico-chimiques influençant la répartition des métaux lourds, des éléments nutritifs et des anions dans les eaux de l'oued de bouregreg. Thèse de doctorat : université Mohamed Adgal, Rabat.2013.
- [2] : Nieboer .D.H, Richardson.S. Environ. Pollut. 1980 réf : p 3-26.
- [3] : Kadouche. S. Utilisation des biomatériaux dans le traitement des eaux. Thèse de doctorat : université Mouhoud Mammeri Tizi Ouzou.2013.
- [4] : Jacques. B. Les métaux toxiques. Edition Holosys. Paris-France.2010.
- [5] : Les pathologies liées aux métaux neurotoxiques. Edition numérique. Genève-France.2013.
- [6] : Barcelo. D . sample handling and trace analysis of pollutants techniques, applications and quality assurance. Edition Elsevier Science. Oxford –Angleterre .2000.
- [7] : Ghodbane, Nouri. L , Hamdaoui . O, Chiha. M. Kinetics and equilibrium study for sorption of cadmium (II) ions from aqueous phase by eucalyptus bark. Journal of Hazardous materials. Volume 152. Page 148-158, Issue1, 21 March 2008.
- [8] : Berthelin . J. Bourrelie .P.H. Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leur gestion. Académie des sciences. Rappel n°42. Technique et documentation. 1998.
- [9] : Robert.N, Juste .C. Enjeux environnementaux et industriels- Dynamiques des éléments traces dans l'écosystème sol. In : spéciation des métaux dans le sol, les cahiers du club Crin, Paris réf : p15-37.1999.
- [10] : Michel .D. J, Wild .S.R. Et Jones.K.C. Arrested municipal solid waste incinerator fly ash as a source of heavy metals to UK environment.1992.
- [11] : Fishben.L. Source .Transports and alterations of metal compounds : an overview. I. arsenic. Beryllium. Cadmium. Chromium and nickel.1981.
- [12] : Recherche google. La pollution par les métaux lourds. Http : /crdp .-amiens. Fr/environ/air /air –maj 3-p 3 -1 htm. 5 Mai 2006.

Les métaux sont souvent présents dans l'environnement à l'état de traces, c'est-à-dire à des concentrations de quelques milligrammes à quelques microgrammes par litre. Pour effectuer le suivi des métaux dans les eaux du barrage Hammam Debagh, il faut pouvoir déterminer des concentrations de métaux à ces niveaux. L'échantillonnage et l'analyse des métaux dans les eaux de surface requièrent donc des précautions particulières pour prévenir la contamination des échantillons. Il est admis dans la communauté scientifique que les concentrations en métaux évaluées par les méthodes usuelles surestiment généralement les concentrations réelles.

## V.1 Description de la zone d'étude :

### V.1.1 Le barrage Hammam Debagh

Le barrage Hammam Debagh (Oued de Bouhamdane) est situé à 23 km de la wilaya de Guelma puisqu'il est implanté à 3 km à l'amont de la localité de Hammam Debagh (**Fig.1**), sur l'Oued Bouhamdane, il tire son nom de la zone des sources thermales et il a été mis en service en 1987 [1].

Le barrage construit sur l'oued Bouhamdane est une réserve d'eau importante pour satisfaire les besoins en eau potable, et pour l'irrigation dans la région, Cet ouvrage, a pour objective essentiellement la régularisation des apports en vue de satisfaire les besoins pour l'irrigation de périmètre de Guelma- Bouchagouf, dont la superficie est plus de 9000 hectare de combler le déficit en eau potable et industrielle des organismes urbains de la wilaya de Guelma.

### V.1.2 Le site du barrage

Le barrage implanté à 3 km à l'amont de la localité de Hammam Debagh, sur l'oued Bouhamdane tire son nom de la zone des sources thermales. L'eau des sources vient des grandes profondeurs avec un débit total de 80-100 l/s.

### V.1.3 Situation géographique de la zone d'étude :

Le barrage de Hammam Debagh est situé au Nord Est algérien, à 20 Km à l'ouest de la ville de Guelma (**fig.14.a.**). Il est implanté à 3 Km à l'amont de la localité de Hammam Debagh. Le barrage a été construit sur l'oued Bouhamdane et son bassin versant a une surface de 1105 Km<sup>2</sup> à Medjaz Amar. Il se trouve dans l'Atlas Tellien orientale appartient au grand bassin versant de la Seybouse qui couvre une superficie plus de 6470 Km<sup>2</sup>(**fig.14.b.**).

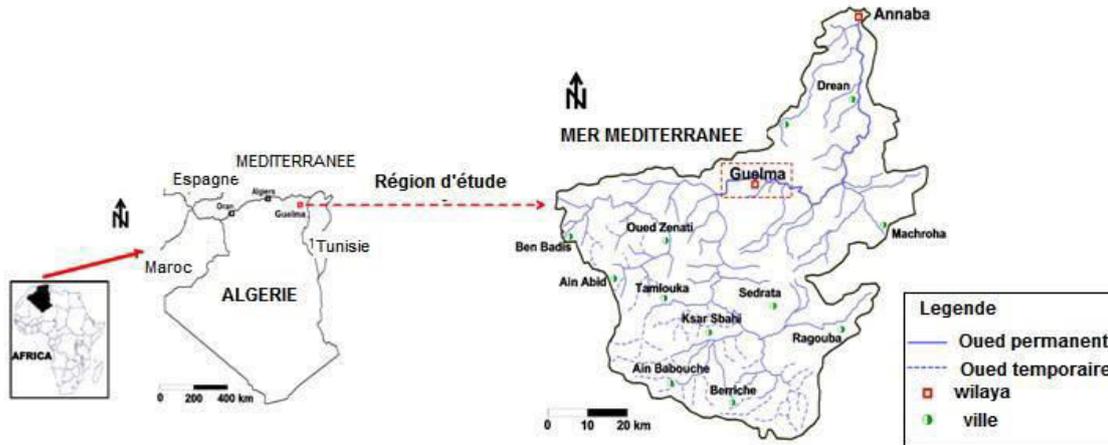


Fig.V.14.a. Localisation de ville de Guelma dans l'Algérie



Fig.V.14.b. Localisation du barrage du Hammam Debaghe dans la région de Guelma

### V.1.4 Le bassin versant

Le bassin versant est une unité géographique définie à partir d'une section droite d'un cours d'eau et qui comprend toute la surface en amont de cette section de telle sorte que toute l'eau qui arrive sur cette surface transite, du moins en théorie, par cette section droite[2].

L'oued Bouhamdene qui comporte Hammam Debagh résulte de la jonction de deux cours d'eau importants : l'oued Sabath et l'oued Zenati, drainant respectivement une superficie de 296 Km<sup>2</sup> et de 592 Km<sup>2</sup> et dont la confluence donne naissance à l'oued Bouhamdene. Le bassin de Oued Bouhamdene est caractérisée par un réseau hydrographique dense d'une superficie de drainage de 1105 Km<sup>2</sup> de forme allongée et un talweg principal a une longueur de 90 km.

### V.1.5 Les activités anthropiques autour du barrage :

La zone d'étude est classée comme un secteur agricole ; elle est caractérisée par la culture à vaste échelle des différents produits agricoles : légumes (323 ha), cultures industrielles (1711 ha), fourrages (03 ha), arbres fruitiers (353 ha) et céréales (11 ha) [3].

Les pesticides et ainsi que leurs dérivés utilisés lors de la culture de ces fruits et légumes au environ de Oued Bouhamdene finissent par atteindre les eaux du barrage par les phénomènes de ruissellement et d'infiltration.

Pour l'industrie, notre région d'étude est caractérisée par les stations de lavage et de carburants au nombre de quinze [6] concentrées sur l'axe Hammam Debagh- Bouhamdane et les unités industrielles (briqueterie), qui déversent leurs rejets dans les affluents de l'Oued Bouhamdane [2]. Les différents types de pollution dans la région d'étude sont la pollution urbaine représentée par les rejets des eaux usées domestiques de la zone d'étude, qui sont jetés, sans traitement préalable dans les Oueds et la pollution de type agricole [4]

### V.2 Echantillonnage:

Pour obtenir des données fiables sur les métaux en traces, la technique d'échantillonnage doit être couplée à une décontamination du matériel utilisé et à des précautions lors du traitement et du dosage des échantillons [6]

L'échantillonnage a été réalisé au niveau du barrage Hammam Debagh le 28 avril 2019.

Nous avons choisi deux sites pour le prélèvement des eaux,

- ❖ **Site1** : avant le traitement des eaux de hammam Debagh. Le site choisi par facilité d'accès à la piste.
- ❖ **Site 2** : après le traitement des eaux de hammam Debagh.

Le choix et le mode de lavage du flacon Pour le dosage des métaux lourds, il convient d'utiliser des récipients en matière polyéthylène pour éviter toute contamination possible. On a préparé les récipients la veille du prélèvement selon le mode opératoire suivant :

- ❖ Quatre bouteilles de 1,5 L chacune lavées avec une solution diluée de détergent et d'eau du robinet.
- ❖ Les bouteilles ont été rincées abondamment avec l'eau du robinet.
- ❖ Les bouteilles ont été rincées avec une solution aqueuse d'acide Nitrique à 10%.
- ❖ Les bouteilles ont été vidées et remplis complètement avec une solution aqueuse d'acide nitrique 10%.
- ❖ Fermer avec le bouchon et laisser reposer pendant au moins 24h.

- ❖ Les bouteilles ont été vidées et rincées avec de l'eau d'une qualité appropriée (eau ultra pure), et replacer immédiatement le bouchon.
- ❖ L'ensemble des bouteilles est transporté dans une glacière.
- ❖ Il est essentiel que les échantillons soient clairement étiquetés immédiatement avant les prélèvements et que les étiquettes soient lisibles et non détachables. Dans ces derniers, on doit noter avec précision : la date, l'heure, les conditions météorologiques, un numéro et toutes circonstances anormales.

On s'est placé face au courant et a attendu que les sédiments soulevés du fond soient déportés vers l'aval. À bout de bras sous la surface de l'eau, On a débouché et remplit la bouteille de 1,5 L ; puis nous les avons rincés et les vidés ensuite hors de l'eau.

La bouteille est refermé et plongée ensuite dans l'eau à une profondeur de 30 cm environ. En l'absence d'indication précise, On a prélevé l'échantillon sous la surface de l'eau. Pour effectuer le prélèvement d'eau destiné à notre analyse, ouvrir, remplir et refermer la bouteille sous l'eau. Ensuite le bouchon de telle façon qu'il n'y est aucune bulle d'air et qu'il ne soit pas éjecté au cours du transport.

Les bouteilles sont bien remplies. On ne laisse pas d'espace pour l'air entre la surface du liquide et le bouchon,

### **V.3 Conservation des échantillons :**

Les échantillons ont été gardés réfrigérés dans une glacière à une température inférieure ou égale à 6° C le plus rapidement possible jusqu'à l'arrivée au laboratoire. Pas de congélation pour les échantillons. Il est important que les échantillons ne gèlent pas durant le transport.

Après l'échantillonnage, il est important de minimiser le temps qui sépare l'échantillonnage et l'envoi des échantillons au laboratoire pour s'assurer de leur intégrité.

### **V.4 Filtration et acidification des échantillons :**

L'ensemble des expériences de laboratoire ont été réalisées à température ambiante. Les solutions ont été préparées avec l'eau ultra pure. Les réactifs utilisés sont de qualité analytique compatible avec l'analyse des métaux traces. L'ensemble du matériel (verrerie, flacons ...) est systématiquement décontaminé au moyen d'acide nitrique à 1%, à fin d'éviter toute contamination.

Pour les paramètres dissous, la filtration sous vide été faite au laboratoire avec un filtre de 0,45 µm. La filtration a été faite au laboratoire dans les 24 heures suivant le prélèvement.

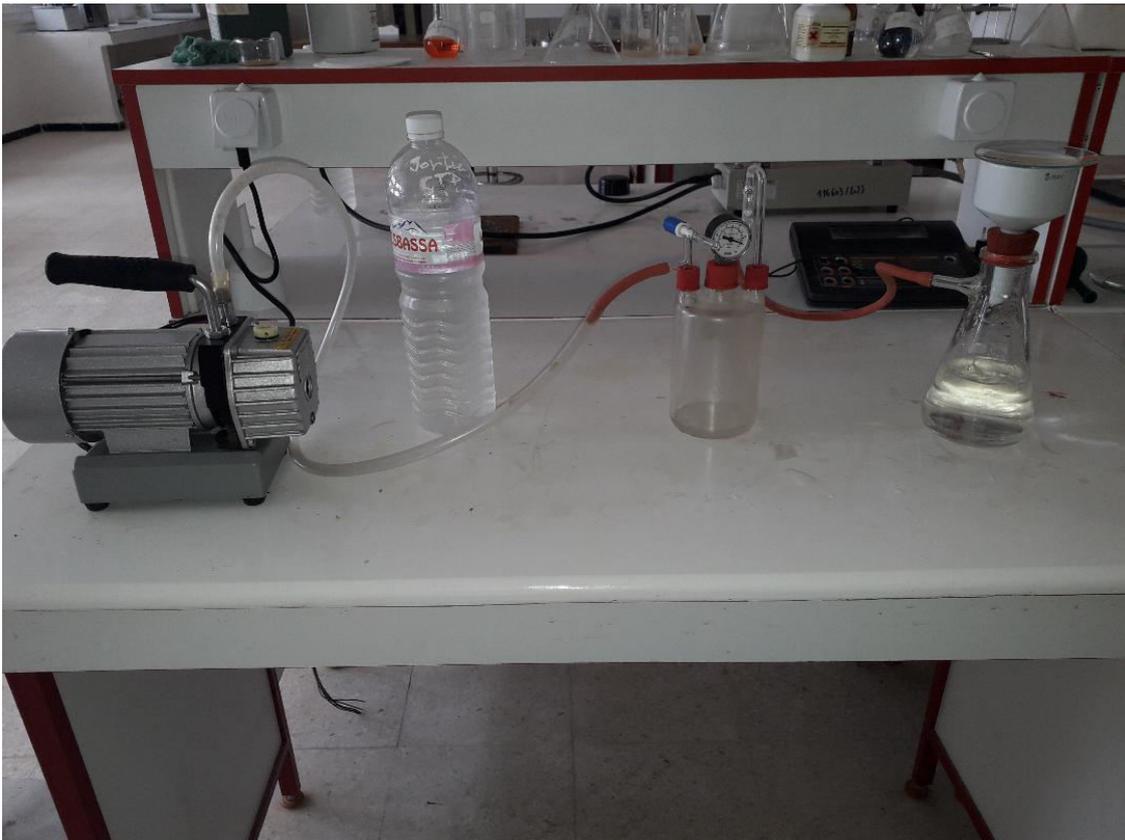


Fig.V.15. Filtration des échantillons



Fig.V.16. Acidification des échantillons

### V.5 Dosage des métaux:

Les analyses ont été effectuées au sein des laboratoires de l'université Mohammed chérif Messadia de souk Ahras. Le spectrophotomètre d'absorption atomique utilisé est Perkin Elmer AA-6300 Shimadzu équipé avec des lampes à cathode creuse de plomb, de zinc de cadmium, manganèse ; cuivre, fer ... Et d'un ensemble nébuliseur-brûleur air-acétylène.

Les paramètres de dosage des différents éléments métalliques dosés sont :

**TableauV.3- Paramètres de dosages des éléments métalliques**

Eléments	Cd	Pb	Zn	Fe	Mn	Cu
<b>Paramètres</b>						
<b>Longueur d'onde (nm)</b>	228,8	217,0	213,9	248,3	279,5	324,8
<b>Fente (nm)</b>	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2	0,5
<b>Temps de lecture (s)</b>	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
<b>Flamme</b>	Air-acétylène	Air-acétylène	Air-acétylène	Air-acétylène	Air-acétylène	Air-acétylène

### V.6 Préparation des courbes d'étalonnage

L'étalonnage a été réalisé avec une gamme relative à la concentration des échantillons pour chaque métal à analyser, les échantillons sont préparés à partir des solutions mères. Les concentrations des échantillons doivent être comprises dans l'intervalle de la concentration des solutions standards. Pour chaque métal, une courbe étalon relative à la concentration de nos échantillons a été tracée à partir des solutions standards (mères) aussi on pourra faire la lecture correctement de nos dosages au SAA. Pour plus de fiabilité, nous avons répété la lecture jusqu'à trois fois pour chaque échantillon.

#### V.6.1 Courbe d'étalonnage du cadmium :

Pour le cadmium, nous avons procédé un tout petit peu différemment vu que sa limite de détection est très faible par rapport aux autres métaux traces. Nous avons préparé une gamme d'étalon de concentrations respectives : 0.005 ; 0.1 ; 0.4 mg/L, à partir d'une solution standard à 1% HNO<sub>3</sub> et de concentration 1000 mg/L.

Coefficient de corrélation ( $R^2$ ) : 0.9985 Inclinaison : 0.05469 Interception : 0.0000

#### V.6.2 Courbe d'étalonnage du plomb :

A partir d'une solution standard à 1% HNO<sub>3</sub> et de concentration 1000 mg/L, nous avons préparé une gamme d'étalon de concentrations respectives : 0,2 ; 0,4 ; 0,8 ; 1 mg/L.

Coefficient de corrélation ( $R^2$ ) : 0.9956 Inclinaison : 0.0556 Interception : 0.000

**V.6.3 Courbe d'étalonnage du zinc :**

A partir d'une solution standard à 1% HNO<sub>3</sub> et de concentration 1000 mg/L, nous avons préparé une gamme d'étalon de concentrations respectives : 0,2 ; 0,4 ; 0,8 ; 1 mg/L.

Coefficient de corrélation ( $R^2$ ) : 0.9956 Inclinaison : 0.0556 Interception : 0.0000

**V.6.4 Courbe d'étalonnage du fer :**

A partir d'une solution standard à 1% HNO<sub>3</sub> et de concentration 1000 mg/L, nous avons préparé une gamme d'étalon de concentrations respectives : 2 ; 4 ; 8 ; 16 mg/L.

Coefficient de corrélation ( $R^2$ ) : 0.9946 Inclinaison : 0.05849 Interception : 0.0000

**V.6.5 Courbe d'étalonnage du manganèse :**

A partir d'une solution standard à 1% HNO<sub>3</sub> et de concentration 1000 mg/L, nous avons préparé une gamme d'étalon de concentrations respectives : 0,1 ; 0,4 ; 0,8 ; 1 mg/L.

Coefficient de corrélation ( $R^2$ ) : 0.9956 Inclinaison : 0.0556 Interception : 0.0000

**V.6.6 Courbe d'étalonnage du cuivre :**

A partir d'une solution standard à 1% HNO<sub>3</sub> et de concentration 1000 mg/L, nous avons préparé une gamme d'étalon de concentrations respectives : 0.1 ; 0.4 ; 0.8 ; 1 mg/L.

Coefficient de corrélation ( $R^2$ ) : 0.9906 Inclinaison : 0.05749 Interception : 0.0000

**V.7 Dosage des métaux :****V.7.1 Dosage du cadmium**

La limite de détection de la méthode par spectrophotomètre d'absorption atomique avec flamme et de 2µg/L.

**a) Matériel spécial**

Spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de cadmium. D'une lampe au deutérium pour la correction du bruit de fond et d'un ensemble nébuliseur-brûleur air-acétylène.

**b) Réactifs**

Solution mère étalon de cadmium à 100 mg/L.

- ❖ Cadmium pur.
- ❖ Acide nitrique.
- ❖ Eau permutée.

**c) Mode opératoire**

Dans une fiole jaugée de 100 ml, introduire 10 ml Solution mère étalon de cadmium puis 10 ml d'échantillon. Nébuliser la solution dans une flamme air-acétylène, en intercalant de l'eau permutée entre chaque échantillon. À l'aide d'un programme AI1200 on effectuant les lectures à la longueur de 228.8 nm.

**d) Expression des résultats**

Les résultats sont exprimés en milligrammes de cadmium par litre.

**V.7.2 Dosage du plomb :**

La teneur en plomb dans les eaux de distribution s'explique fréquemment par la présence de ce métal dans les canalisations ou dans les vannes ou autres accessoires que l'on trouve dans les réseaux. Plusieurs facteurs doivent être pris en compte, comme le ph et la température de l'eau. Le plomb peut se trouver sous plusieurs formes : soluble, particulaire et dépôt instable. Dans ces conditions et compte tenu de l'hétérogénéité de la teneur en plomb dans le temps, il y a lieu de prendre un certain nombre de précautions lors du prélèvement ; il convient de se rappeler qu'une canalisation de 20 mm de diamètre sur 100 m de longueur représente un volume d'environ 30 litres. Aussi, si l'on veut vider la canalisation interne d'un immeuble pour obtenir la qualité représentée par le réseau public, il faudra prendre la précaution de faire couler l'eau pendant plusieurs minutes. Bien que la technique de prélèvement ne soit pas encore normalisée, il est recommandé de faire le prélèvement en deux temps :

- ❖ Opérer un prélèvement sur les premières fractions obtenues après stagnation de l'eau dans la canalisation pendant une nuit, par exemple.
- ❖ Faire couler un volume d'eau permettant d'atteindre directement le réseau public (5 minutes à plein débit, par exemple)

**a) Réactifs :**

Solution mère étalon de plomb à 100 mg/L :

- ❖ Plomb pur.
- ❖ Acide nitrique.
- ❖ Eau permutée.

**b) Mode opératoire :**

Dans une fiole jaugée de 100 ml, introduire 10 ml Solution mère étalon de plomb puis 10 ml d'échantillon.

Nébuliser la solution dans une flamme air-acétylène, en intercalant de l'eau permutée entre chaque échantillon. On effectuant les lectures à la longueur de 283.3 nm.

**c) Expression des résultats :**

Les résultats sont exprimés en milligrammes de plomb par litre

**V.7.3 Dosage du zinc****a) Matériel spécial**

Spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de zinc et d'un ensemble nébuliseur-brûleur air-acétylène.

**b) Réactifs**

Solution mère étalon de zinc à 100 mg/L :

- ❖ Zinc pur.
- ❖ Acide nitrique.
- ❖ Eau permutée.

**c) Mode opératoire**

Dans une fiole jaugée de 100 ml, introduire 10 ml Solution mère étalon de zinc puis 10 ml d'échantillon. Nébuliser la solution dans une flamme air-acétylène, en intercalant de l'eau permutée entre chaque échantillon. On effectuant les lectures à la longueur de 213.86 nm.

**d) Expression des résultats**

Les résultats sont exprimés en milligrammes de zinc par litre.

**V.7.4 Dosage du fer :**

Le fer peut se rencontrer dans l'eau sous différentes formes. Dans les conditions habituelles, c'est-à-dire pour le ph variant entre 4,5 et 9, le fer soluble présent est généralement à l'état ferreux. Si le milieu est réducteur comme dans beaucoup d'eaux souterraines, le fer ferreux peut atteindre des teneurs élevées. En l'absence de complexes, le fer ferrique n'est soluble d'une façon significative qu'à des ph inférieurs à 3. Pratiquement, les eaux superficielles n'en contiennent que très peu, rarement plus de 1 mg/L. En effet, sous l'action de l'air, ou par addition de chlore, le fer est oxydé à l'état ferrique et peut être hydrolyse pour donner un hydroxyde de fer insoluble. C'est généralement sous cette forme qu'on le trouve dans les échantillons, sauf si le prélèvement a été pratiqué de telle façon qu'il ne se produise aucune oxydation.

**a) Matériel spécial :**

Spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de fer ou d'une lampe à décharge (lampe EDL) et d'un ensemble nébuliseur-brûleur air-acétylène.

**b) Réactifs**

Solution mère étalon de fer à 100 mg/L :

- ❖ Plomb pur.
- ❖ Acide nitrique.
- ❖ Eau permutée.

**c) Mode opératoire :**

Dans une fiole jaugée de 100 ml, introduire 10 ml Solution mère étalon de fer puis 10 ml d'échantillon. Nébuliser la solution dans une flamme air-acétylène, en intercalant de l'eau permutée entre chaque échantillon. On effectuant les lectures à la longueur de 248,3nm.

**d) Expression des résultats**

Les résultats sont exprimés en milligrammes de plomb par litre.

**V.7.5 Dosage du manganèse :****a) Matériel spécial**

Spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de manganèse. D'une lampe au deutérium pour la correction du bruit de fond et d'un ensemble nébuliseur-brûleur air-acétylène.

**b) Réactifs**

Solution mère étalon de manganèse à 100 mg/L.

- ❖ Manganèse pur.
- ❖ Acide nitrique.
- ❖ Eau permutée.

**c) Mode opératoire**

Dans une fiole jaugée de 100 ml, introduire 10 ml Solution mère étalon de manganèse puis 10 ml d'échantillon. Nébuliser la solution dans une flamme air-acétylène, en intercalant de l'eau permutée entre chaque échantillon. À l'aide d'un programme AI1200 on effectuant les lectures à la longueur de 279,5 nm

**d) Expression des résultats**

Les résultats sont exprimés en milligrammes de manganèse par litre.

**V.7.6 Dosage du cuivre**

Effectuer le dosage du cuivre dès le prélèvement car il a tendance à se fixer sur les parois des flacons. En cas d'impossibilité, acidifier l'échantillon au moment du prélèvement avec 5 ml d'acide chlorhydrique par litre d'eau.

**a) Matériel spécial**

Spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de cuivre et d'un ensemble nébuliseur-brûleur air-acétylène.

**b) Réactifs**

Solution mère étalon de cuivre à 100 mg/L :

- ❖ Cuivre pur.
- ❖ Acide nitrique.
- ❖ Eau permutée.

**c) Mode opératoire**

Dans une fiole jaugée de 100 ml, introduire 10 ml Solution mère étalon de cuivre puis 10 ml d'échantillon. Nébuliser la solution dans une flamme air-acétylène, en intercalant de l'eau permutée entre chaque échantillon. À l'aide d'un programme AI1200 on effectuant les lectures à la longueur de 324.7 nm.

**d) Expression des résultats**

Les résultats sont exprimés en milligrammes de cuivre par litre.

## VI.1 Expression des résultats :

### VI.1.1 Mesure de la température et du pH :

Parmi les paramètres analysés in situ, nous citons, la température et le pH

#### a) La température :

La mesure de la température a été effectuée sur terrain en utilisant un thermomètre gradué au 1 /10 et en respectant les consignes [6]. La température de l'eau a été mesurée sur le site de prélèvement « barrage ». La lecture a été faite après une immersion de 10 minutes du thermomètre à environ 15 cm de profondeur. Les résultats sont exprimés en °C.

**Site1** : avant le traitement des eaux : T °C = 11,08

**Site2** : après le traitement des eaux : T °C = 11,5

Les résultats obtenus au cours de notre échantillonnage montrent que la température de l'eau est bonne et se trouve dans l'intervalle de la classe I bonne d'après la grille de l'ARNH (1999). La température de l'eau est un paramètre important pour la vie aquatique en fait, la majorité des paramètres physico-chimiques et l'analyse des métaux dépendant de la température. Ainsi un réchauffement entraîne l'apparition des algues flottantes et des organismes aquatiques indésirables

L'eau froide est généralement plus appréciée que l'eau chaude et la température aura un impact sur l'acceptabilité d'un certain nombre de constituants inorganiques et de contaminants chimiques qui peuvent affecter le goût. Une température élevée de l'eau stimule la croissance des micro-organismes et peut accroître les problèmes liés au goût, à l'odeur, à la coloration et à la corrosion.

#### b) Le pH :

Le pH est pris avec un pH mètre électrométrique, en plongeant l'électrode dans l'eau à environ 6 à 8 cm de la surface. Le pH mètre est étalonné avec des solutions étalons pH 4, 7 et pH 10 à 20°C. Les résultats sont exprimés en unités pH.

**Site1** : avant le traitement des eaux pH = 7,44

**Site2** : après le traitement des eaux : pH = 8,5.

Les mesures montrent que les eaux du barrage sont faiblement alcalines. Valeur minimale de 7.4 et 8,5. Ces résultats montrent que les valeurs du pH sont légèrement variées ce qui reflète clairement l'influence de la nature géologique du bassin versant sur la composition chimique des eaux. En effet, le bassin drainé est formé essentiellement par des roches sédimentaires. Ces variations du pH peuvent être expliquées également par les phénomènes de dilution qui peuvent intervenir sur les valeurs du pH des milieux aquatiques, ou par l'influence des eaux de ruissellements chargé généralement de diverses matières aux origines différentes.

### VI.1.2 Résultats des dosages des métaux :

Les résultats des concentrations des métaux analysés sont exprimés en milligrammes par litre. Les différents résultats sont présentés dans le tableau :

**Tableau VI.4- Les résultats des concentrations des métaux**

Eléments	Eau brute	Eau traitée	Unité
Cadmium (Cd)	0,41	0,01	mg/ L
Plomb (Pb)	0,12	0,00	mg/ L
Zinc (Zn)	0,145	0,00	mg/ L
Fer (Fe)	0,055	0,10	mg/ L
Manganèse (Mn)	0,10	0,05	mg/ L
Cuivre (Cu)	0,03	0.03	mg/ L

### VI.1.3 Interprétation des résultats de dosage des métaux

#### a) Cadmium :

La coagulation au sulfate ferrique, on élimine plus de 90 % du cadmium à un pH dépassant 8, mais seulement 30 % au pH 7. La réglementation algérienne retient comme valeur limite 0.01 mg/L. Bien que notre résultat est de 0.014 mg/L pour l'eau brute est qui dépasse un peu la concentration maximale et nulle pour l'eau traitée ce qui est conforme aux normes prescrites.

Elles pourraient être dues soit à la nature géologique des terrains, à l'utilisation abusive d'engrais phosphatés contenant un certain pourcentage en cadmium ou à des rejets industriels.

Il y'a lieu de citer que le procédé de précipitation chimique utilisé qui est la floculation qui se fait au niveau du barrage a éliminé entièrement les traces de cadmium. On peut utiliser aussi l'échange d'ions, l'électrolyse, les procédés membranaires et l'adsorption

#### b) Plomb :

L'OMS, indique comme pour les eaux destinées à la consommation humaine, une concentration maximale admissible de 0,05 mg/L. Elles précisent que dans le cas de canalisations en plomb, la teneur en plomb ne devrait pas être supérieure à 0,05 mg/L dans un échantillon prélevé après écoulement. Si l'échantillon est prélevé directement ou après écoulement et que la teneur en plomb dépasse fréquemment ou sensiblement 0,1 mg/L, des mesures appropriées doivent être prises afin de réduire les risques d'exposition du consommateur.

La réglementation algérienne retient cette même valeur de 0.05 mg/L. Le cas de notre eau ou on a constaté l'absence de plomb dans l'eau traitée donc elle reste dans les normes de potabilité. La présence du plomb dans les eaux de surface de Hammam Debagh avant

traitement est du à la contamination diffuse des milieux ruraux par les eaux domestiques et autres (carburant, peinture, batteries, piles...)

Bien que les eaux de distribution à la sortie du station du traitement respectent le plus souvent les concentrations autorisées en plomb, il arrive que des dépassements soient observés au robinet du consommateur. Les causes peuvent être liées à la présence de tuyaux en plomb, très utilisée autrefois, ou de brasures au plomb et à l'étain employées pour le liais des tuyaux en cuivre. En effet, le flux utilisé dans le brasage, de par son action souvent corrosive, constitue un électrolyte favorisant la corrosive des brasures.

**c) Zinc :**

La dureté de l'eau de Hammam Debagh ne dépasse pas dans le tous des cas 50° f, le zinc ne présente aucune toxicité pour la vie aquatique. La toxicité pour le poisson s'exerce à partir de quelques milligrammes par litre. Pour l'usage agricole, le dépérissement des plantes peut intervenir à partir de 5 mg/L. Pour l'eau destinée à la consommation humaine, l'OMS recommande comme valeur limite pour le zinc 3 mg/L. la réglementation algérienne fixe comme valeur limite 5mg/L. Pour l'eau étudiée la teneur en zinc pour le premier et le deuxième échantillon, répond aux normes.

Selon les conseils et les publications de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO 2003), les eaux du bassin de Hammam Debagh ne sont pas toxiques pour la plupart des plantes puisque la concentration en zinc ne dépasse pas la valeur de 2 mg/L. En plus la toxicité du zinc est réduite surtout que le pH est supérieur à 6 dans les sols organiques ou à fine texture.

**d) Fer :**

L'OMS recommande une valeur guide de 0,3 mg/L. La réglementation algérienne retient cette même valeur de 0,3 mg/L. En fait, si l'on veut éviter tous les inconvénients (goût, couleur, précipité, taches sur le linge), l'eau de distribution ne devrait pas avoir une teneur en fer supérieure à 0,05 mg/L. L'élimination du fer peut se faire par oxydation-aération suivie d'une filtration ou par oxydation biologique. Pour notre analyse les concentrations pour l'eau brute et eau traitée répondent aux normes prescrites.

Le fer contenu dans les eaux de Hammam Debagh est d'origine tellurique, la concentration observée provient de lessivage des terrains traversés. Sa présence est liée à des conditions physiques (pH, potentiel, oxygène dissous....).

Les eaux de Hammam Debagh ne sont pas riches en fer (concentration inférieure à 2 mg/L), ce qui ne favorisent pas le développement des ferrobactéries présentent naturellement dans ces eaux et les empêchent d'en participer aux problèmes de corrosion ou d'accumulation dans les pompes immergés dans ces eaux.

Indépendamment d'une saveur désagréable pouvant être perçue à partir de 0,05 mg/L, le fer du barrage développe une turbidité rougeâtre peu engageante pour le consommateur. L'apport négligeable en fer dans les eaux de Hammam Debagh, nous confirme leurs validités pour l'irrigation (concentration inférieure à 5 mg/L) et ne présente aucune toxicité pour les

plantes des sols aérés, et ne contribue ni à l'acidification du sol, ni à la perte de disponibilité de phosphore et de molybdène qui sont des oligoéléments indispensables au végétaux ou animaux.

**e) Le manganèse :**

Le manganèse est souvent présent à l'état naturel avec le fer. Les sources les plus fréquentes de manganèse dans l'eau de surface de Hamma Debagh et surtout les eaux souterraines sont naturelles ; il peut s'agir par exemple de l'altération météorique des minéraux et des roches qui en contiennent. Ainsi que dans les régions où l'eau coule à travers des sols riches en matières organiques. Les sources artificielles sont à l'origine du manganèse dans notre bassin versant sont : cuvelage des puits, canalisations, pompes, réservoirs, et autres objets faits en fonte ou en acier pouvant être en contact avec de l'eau.

D'après les valeurs mesurées des concentrations du manganèse, les eaux ne peuvent pas conférer un goût indésirable aux boissons et ne colore pas la faïence sanitaire et le linge et ne peut entraîner l'accumulation de dépôts dans le réseau de distribution. (Valeurs ne dépassent pas 0,1 mg/L) Des concentrations inférieures à 0,1 mg/L sont habituellement acceptables pour les consommateurs. Cependant, dans certaines conditions, le manganèse peut être présent à des concentrations supérieures à 0,1 mg/l et peut rester en solution pendant une période plus longue par rapport à sa solubilité habituelle dans la plupart des eaux de boisson.

Le manganèse peut être éliminé par chloration suivie d'une filtration.

**f) Cuivre :**

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, l'OMS recommande une valeur guide provisoire de 2 mg/L compte tenu des incertitudes de la toxicité du cuivre pour l'homme. Toutefois, elle précise que des risques de taches sur les appareils sanitaires peuvent apparaître pour des teneurs supérieurs à 1 mg/L. La réglementation algérienne retient comme valeur limite 1.5 mg/L. Cette valeur a été retenue plutôt en raison de la saveur que de la toxicité qui, relativement faible pourrait permettre des doses plus élevées surtout si on les compare aux quantités journalièrement introduites par l'alimentation. Pratiquement, la saveur métallique et astringente des sels de cuivre apparaît pour des doses de 4 à 5 mg/L.

Les valeurs retrouvées pour notre eau sont bien inférieures aux normes prescrites, elles sont de 0.023 mg/L pour l'eau brute et de 0.009 mg/L pour l'eau traitée.

**Référence bibliographique**

- [1] : LOUAMRI A., 2010. Contribution à l'évaluation des transports solides de l'Oued Bouhamdane à la Station de Medjez Ammar II et le Barrage Hammam Debagh, international network environmental management conflicts, Santa Catarina, Brasil, 1-7
- [2] : Mansouri Z., 2009. Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (Nord-Est Algérien), Thèse de magister. Université Badji Mokhtar, Annaba. Algérie.134p.
- [3] : Agence nationale de la gestion intégrée des ressources en eau (A.G.I.R.E). , Agence de bassin hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue (ABHCSM). , 2006. Rapport sur l'analyse de l'année hydrologique (2015-2016) du barrage Hammam Debagh. 13p
- [4] : Lahondère. J. C., 1987. Les séries ultra telliennes d'Algérie nord-orientale et les formations environnantes dans leur cadre structural. Thèse d'Etat. Université Paul Sabatier. Toulouse. 204p
- [5] : Agence nationale des barrages et transferts (ANBT), 2014. Evolution de la qualité physico-chimique des eaux du Barrage Hammam Debagh, 10p
- [6] : Rodier J., Beuffr H., Bournaud M., Broutin J. P., Geoffray Ch., Kovacsik G., Laport J., Pattee E., Plissier M., Rodi L., Vial J., L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 9e édition. Ed. Dunod, (1984).

### Conclusion général :

Dans la nature, l'eau est une véritable source de vie, mais elle peut véhiculer beaucoup de maladies dont certaines peuvent être mortelles. L'exploitation des eaux de surface nous oblige à traiter ces eaux pour les rendre potables tout en préservant leurs qualités physicochimiques et le contrôle de la présence des métaux lourds.

Pour obtenir des données fiables sur les métaux en traces, la technique d'échantillonnage doit être couplée à une décontamination du matériel utilisé et à des précautions lors du traitement et du dosage des échantillons. À cet effet, il est nécessaire de suivre les recommandations sur les méthodes de conservation des échantillons.

Pour doser nos métaux dissous, on a filtré à filtrer l'échantillon d'eau pour en enlever les particules avant de procéder à l'analyse.

Les analyses des métaux nécessite plusieurs techniques de dosage, la méthode d'analyse adéquate qui été utilisée pour les métaux dissous dans notre eau de surface est la SAA. Cette méthode d'analyse a fourni des résultats pour 6 métaux mesurables en traces (Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn), avec des limites de détection de 0,002 à 0,5 µg/l, selon les métaux.

Pour la plupart des métaux, le respect de ces recommandations permet de détecter les faibles concentrations des milieux aquatiques, d'obtenir des données fiables et au niveau de précision exigé par les critères de qualité de l'eau de surface.

Il ressort des résultats que les eaux de surface de Hammam Debagh ne sont pas contaminées par ces éléments traces métalliques au moins pour la période de notre échantillonnage. Il a été observé que les moyennes des teneurs maximales ne sont pas supérieures aux normes de l'OMS pour l'eau potable et ne dépassent pas les valeurs limites et les valeurs indicatives des paramètres de qualité de l'eau selon les règlements et les normes algériennes relatifs à la qualité de l'eau de consommation humaine. Ces teneurs traduisent l'évidence de la bonne qualité de ces eaux.

L'analyse des métaux dans les eaux nous a permis aussi nous de détecter l'origine et les sources qui sont généralement anthropiques ou naturelles.

Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait, des risques très supérieurs aux métaux d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes.

### Résumé :

Le bassin versant de Bouhamdane est situé au Nord ou Est de l'Algérie occupant la partie Ouest de la wilaya de Guelma, le bassin de Bouhamdane s'étant sur une superficie de 1105 Km<sup>2</sup>.

Les ressources en eau dans bassin versant de Bouhamdane sont variées entre les eaux des surfaces (barrage retenues collinaires) et les eaux souterraines.

Le développement socioéconomique du bassin versant de Bouhamdane a engendré une augmentation importante de la demande en eau des différents secteurs (L'alimentation en eau potable (A.E.P), l'alimentation en eau agricole (A.E.A) et l'alimentation en eau industrielle (A.E.I).

La présente étude vise à caractériser la pollution en éléments traces métalliques des eaux de surface du barrage Hammam Debagh et la qualité de ces eaux produites et distribuées, afin d'évaluer le risque sanitaire que court la population de la région de la Wilaya de Guelma (Algérie). Les échantillons ont été dosés par la méthode de spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA). L'optimisation de cette méthode a été réalisée avec un spectromètre d'absorption atomique et a permis le dosage des éléments suivants (Cd, Pb, Ni, Cu, Fe et Mn).

Les résultats obtenus avec cette méthode rapide et ne nécessitant pas de préparation particulière dans les opérations de routine, répondent parfaitement à nos préoccupations environnementales avec des seuils de détection analytique compris entre 1 et 10 ppm.

### Mots clés :

Bassin versant ; spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA), Métaux lourds, eau de surface, norme OMS, normes Algérienne, pollution.

## Les normes Algérienne

18 Rabie Ethani 1432 23 mars 2011		JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 18		7
ANNEXE				
PARAMETRES DE QUALITE DE L'EAU DE CONSOMMATION HUMAINE				
<b>Tableau 1 : PARAMETRES AVEC VALEURS LIMITEES</b>				
GRUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITEES	
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/l	0,2	
	Ammonium	mg/l	0,5	
	Baryum	mg/l	0,7	
	Bore	mg/l	1	
	Fer total	mg/l	0,3	
	Fluorures	mg/l	1,5	
	Manganèse	µg/l	50	
	Nitrates	mg/l	50	
	Nitrites	mg/l	0,2	
	Oxydabilité	mg/l O <sub>2</sub>	5	
	Phosphore	mg/l	5	
	Acrylamide	µg/l	0,5	
	Antimoine	µg/l	20	
	Argent	µg/l	100	
	Arsenic	µg/l	10	
	Cadmium	µg/l	3	
	Chrome total	µg/l	50	
	Cuivre	mg/l	2	
	Cyanure	µg/l	70	
	Mercure	µg/l	6	
Nickel	µg/l	70		
Plomb	µg/l	10		
Sélénium	µg/l	10		
Zinc	mg/l	5		

## ANNEXE (suite)

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Paramètres chimiques	Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) totaux	µg/l	0,2
	fluoranthène, benzo (3,4) fluoranthène, benzo (11,12) fluoranthène, benzo (3,4) pyrène, benzo (1,12) pérylène, indéno (1 ,2,3-cd) pyrène.		
	benzo (3,4) pyrène	µg/l	0,01
	Hydrocarbures dissous ou émulsionnés extraits au CCl <sub>4</sub>	µg/l	10
	Phénols	µg/l	0,5
	Benzène	µg/l	10
	Toluène	µg/l	700
	Ethylbenzène	µg/l	300
	Xylènes	µg/l	500
	Styrène	µg/l	100
	Agents de surface réagissant au bleu de méthylène	mg/l	0,2
	Epychlorhydrine	µg/l	0,4
	Microcystine LR	µg/l	0,1
	Pesticides par substance individualisée - Insecticides organochlorés persistants, organophosphorés et carbamates, les herbicides, les fongicides, les P.C.B. et P.C.T	µg/l	0,1
	à l'exception de aldrine et dieldrine		0,03
	Pesticides (Totaux)	µg/l	0,5
	Bromates	µg/l	10
Chlore	mg/l	5	
Chlorite	mg/l	0,07	
Trihalométhanes (THM) (Total)			
Chloroforme, Bromoforme, Dibromochlorométhane, Bromodichlorométhane	µg/l	100	

## ANNEXE (suite)

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Paramètres chimiques (suite)	Chlorure de vinyle	µg/l	0,3
	1,2 - Dichloroéthane	µg/l	30
	1,2 - Dichlorobenzène	µg/l	1000
	1,4 - Dichlorobenzène	µg/l	300
	Trichloroéthylène	µg/l	20
	Tetrachloroéthylène	µg/l	40
Radionucléides	Particules alpha	Picocurie/l	15
	Particules bêta	Millirems/an	4
	Tritium	Bequerel/l	100
	Uranium	µg/l	15
	Dose totale indicative (DTI)	(mSv/an)	0,1
Paramètres microbiologiques	Escherichia Coli	n/100ml	0
	Entérocoques	n/100ml	0
	Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores	n/20ml	0

Tableau 2 : PARAMETRES AVEC VALEURS INDICATIVES

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS INDICATIVES
Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/l Platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 12°C	Taux dilution	4
	Saveur à 25°C	Taux dilution	4
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Alcalinité	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	500
	Calcium	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	200
	Chlorures	mg/l	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité à 20°C	µS/cm	2800
	Dureté	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	200
	Potassium	mg/l	12
	Résidu sec	mg/l	1500
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
Température	°C	25	

## Normes et lignes directives de L'OMS pour la qualité des eaux potables (mise à jour 2006)

### Normes de l'OMS sur l'eau potable

Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006 sont la référence en ce qui concerne la sécurité en matière d'eau potable.

Élément/ substance	Symbole/ formule	Concentration normalement trouvée dans l'eau de surface	Lignes directrices fixées par l'OMS
Aluminium	Al		0,2 mg/l
Ammonium	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	< 0,2 mg/l (peut aller jusqu'à 0,3mg/l dans une eau anaérobique)	Pas de contraintes
Antimoine	Sb	< 4 µg/l	0.02 mg/l
Arsenic	As		0,01 mg/l
Amiante			Pas de valeur guide
Baryum	Ba		0,7 mg/l
Béryllium	Be	< 1 µg/l	Pas de valeur guide
Cadmium	Cd	< 1 µg/l	0,003 mg/l
Chlore	Cl		Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l
Chrome	Cr <sup>+3</sup> , Cr <sup>+6</sup>	< 2 µg/l	chrome total : 0,05 mg/l
Couleur			Pas de valeur guide
Cuivre	Cu <sup>2+</sup>		2 mg/l
Cyanure	CN <sup>-</sup>		0,07 mg/l
oxygène dissous	O <sub>2</sub>		Pas de valeur guide
Fluorure	F <sup>-</sup>	< 1,5 mg/l (up to 10)	1,5 mg/l
Dureté	mg/l CaCO <sub>3</sub>		200 ppm