

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد الصديق بن يحيى- جيجل
Université Mohamed-Seddik Benyahia-Jijel

Faculté : Sciences de la Nature et de la Vie

Département: Biologie Moléculaire et
Cellulaire



كلية علوم الطبيعة والحياة

قسم البيولوجيا الجزيئية والخلوية

Mémoire de Master

Filière : Sciences biologiques

Option : Toxicologie Fondamentale et Appliquée

Thème

*Evaluation de la contamination métallique de certaines
sources d'eau potable dans la wilaya de Jijel*

Membres de Jury:

- Président: Dr. LEKROUN Zouhra
- Examineur: Dr. BALLI Nassima
- Encadreur: Dr. CHEBAB Samira

Présenté par :

- BOUMELTA Zineb
- BOUBEKEUR Hasna
- BOUALI Yasmina

Session : Septembre 2021

Numéro d'ordre : .../...

Laboratoire d'écotoxicologie, Université Med-seddik ben yahia- Jijel.



Remerciements

Tous nos remerciements vont tout premièrement au dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné

*Nos remerciements les plus sincères à **M^{me} Chebab Samira** notre encadreur pour sa bienveillance, ses précieux conseils et ses encouragements durant notre travail, nous lui disons merci beaucoup pour vos aides*

Nous tenons à remercier les membres de jury d'avoir consacré du temps pour examiner ce travail

M^{me} Balli Nassima et M^{me} Lekroune Zouhra

Nos vifs remerciements vont à tous les enseignants qui nous ont suivis durant nos 5 ans d'études.

Enfin, nous remercions toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de cet humble mémoire de fin d'études.





Dédicace

Je Dédie ce travail :

*A mon très cher père **Riad***

Que Dieu te protège et t'accorde santé et longue vie. Je t'aime tellement ...

*A ma très chère mère **Fatima***

*Que Dieu te protège et t'accorde santé et longue vie tu m'a toujours
soutenu*

*A mes grands parents **Belkacem** et **Djamila***

Que Dieu prolonge leur vie et leur donne une bonne santé

*A mes très chères frères **Houssam** et **Mohamed Lamine***

Je vous souhaite tous le bonheur du monde

*A la femme de mon frère **Karine***

*A ma princesse, ma nièce, **Mayssa***

*A toute la famille **Boumelta** et **Fennour***

A quelqu'un qui était toujours à mes côtés je t'aime ♥ F ♥

*A mes chers amies **Fayza**, **Racha**, **Assia** et **Sabrina***

*A mes amis du lycée **ZFRMSA** ; même si notre amitié s'est estompée, ils
étaient autrefois le côté gauche de ma poitrine.*

*A tous mes collègues de master 2 ; **Yasmina**, **Hasna**, **Wafa**, **Rania** et **Bissou**...*

Qui m'ont épaulé énormément aux moments les plus difficiles de ce travail

Enfin, à celui qui lira ce document un jour.





Dédicace

Je Dédie ce modeste travail :

*A mes très chers **parents Rachid et Aziza***

pour leurs dévouements, leurs amours, leurs sacrifices et leurs encouragements.

Que ce travail soit, pour eux, un faible témoignage de mon grand amour, ma profonde affection et tendresse.

*A ma très chère défunte **sœur Radia**, qu'Allah ait ton âme et te recueille dans ces paradis, tu vivras toujours dans nos cœurs.*

*A mes chers **frères Ahmed, Mohamed, Yasser, Abdelhakim***

A eux tous, je souhaite un avenir plein de joie et de bonheur

*A mon petit cœurs mon très **cher neveu Abdelmoujib** tu seras toujours le bijou de ta tante adorée.*

*A mon très cher **fiancé Hamza***

*A ma chère **tante Warda et ses filles Hadjer, Kawther et Asma.***

A tous les membres de ma famille

A tous ceux qui me sont chers

*A mes chères amies **Yasmin, Zayneb, Sarah, Hanane, Wafa,***

Samah, Lilia, Sabah

Enfin, à celui qui lira ce document un jour





Dédicace

*Tout d'abord je remercie A qui m'a permit de suivre
mes études et m'a muni de volonté, force et patience à
fin de réaliser ce travail.*

*A mes chers **parents** source de tendresse, de volonté, et de patience
mes yeux à travers lesquels j'ai vu et je vois ce monde*

*Mon très cher père **Arjem***

*Ma très chère mère **Charifa***

*A mes très chères frères **Mohamed, Abd El Ghani, Samir, Bilal,
Ahmed et Farid***

*A mes très chères sœurs **Saliha, Hayet, Yousra et Ferial***

Je vous souhait tous le bonheur du monde

*A toute la famille **Bouali et Fedsi***

*A mes chers amies **Imane , Souad , Amina, Besma ,Meriem et wafia***

*A ma chère tante **Louiza***

*A tous mes collègues de master 2 ; **Hasna, Zayneb, Sara et Hanane***

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

Et Pour tout qui me connais au pré ou de loin.

Enfin, à celui qui lira ce document un jour.



Liste des tableaux	v
Liste des figures	vi
Liste des photos	vii
Liste des abréviations	viii
Introduction	1

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Qualité de l'eau potable

I.1. Généralités sur l'eau	03
I.1.1. Définition	03
I.1.2. Cycle de l'eau.....	03
I.1.3. Ressources en eau	04
I.1.3.1. Eaux de surface	04
I.1.3.2. Eaux souterraines	05
I.1.3.3.Eaux de mers et océans	05
I.2.Généralités sur l'eau potable	05
I.2.1.Définition de l'eau potable	05
I.2.2. Caractéristiques d'une eau de consommation.....	05
I.2.3.Les types des eaux destinées à la consommation humaine	06
I.2.3.1. Les eaux de pluies ou eaux météoriques.....	06
I.2.3.2.Les eaux de source	06
I.2.3.3.Les eaux minérales.....	06
I.2.4.Le cycle de l'eau de consommation.....	06
I.2.5.Distribution jusqu'au robinet	07
I.2.6.Les besoins humains en eau	07
I.3. La pollution de l'eau	08
I.3.1. Définition d'une eau polluée.....	08
I.3.2.Les origines de la pollution de l'eau	08
I.3.2.1.Origines naturelles	08

I.3.2.2.Origines anthropiques	08
I.4.Les paramètres de qualité des eaux potable et leurs normes	10
I.4.1.Paramètres physico-chimiques	10
I.4.1.1.Les paramètres physicochimiques liés aux substances toxiques	11
Chapitre II : Généralités sur les métaux lourds	
II.1. Définition.....	12
II.2. Classification des métaux lourds	13
II.2.1. Essentiels	13
II.2.2.Non essentiels	14
II.3. Les différentes sources des métaux lourds.....	14
II.3.1.Source d'origine naturelle	14
II.3.2.Source d'origine anthropique	14
II.4. Principales propriétés physico-chimiques des métaux lourds.....	15
II.4.1. Solubilité.....	15
II.4.2. Persistance	15
II.4.3.Volatilité	15
II.5. Les facteurs influencés la mobilité des métaux lourds.....	15
II.5.1. PH	15
II.5.2. Température.....	15
II.5.3. Force ionique	16
II.5.4. Les conditions d'oxydoréduction	16
II.5.5. Action des micro-organismes	16
II.6. Contamination de l'environnement par métaux lourds	16
II.6.1. Contamination de l'air	16
II.6.2.Contamination de sol.....	17
II.6.3. Contamination de l'eau.....	17
II.7. Impacte toxicologique des métaux lourds	17
II.7.1.Exposition.....	18
II.7.2. Effet sur l'environnement.....	18
II.7.3.Effet sur la santé humaine	19

II.8. Molécules candidates.....	20
II.8 .1. Zinc	20
II.8.1.1.Généralités	20
II.8.1.2. Propriétés	21
II.8.1.3. Utilisation	21
II.8.1.4.Comportement du zinc dans l'eau.....	22
II.8.1.5. Toxicité.....	22
II.8 .2.Cadmium.....	22
II.8.2.1.Généralités	22
II.8.2.2. Propriétés	23
II.8.2.3. Utilisation	23
II.8.2.4. Comportement du cadmium dans l'eau.....	23
II.8.2.5. Toxicité.....	24
II.8 .3. Plomb.....	24
II.8.3.1.Généralités	24
II.8.3.2. Propriétés	25
II.8.3.3. Utilisation	25
II.8.3.4. Comportement du plomb dans l'eau.....	25
II.8.3.5. Toxicité.....	26

Partie II : Partie expérimentale

Chapitre I : Matériel et méthodes

I.1. Description de la wilaya de Jijel.....	27
I.1.1. Situation géographique de la wilaya de Jijel	27
I.1.2. Le réseau hydrographique.....	27
I.1.3. La climatologie	28
I.1.3.1. La température	28
I.1.3.2. Les précipitations	29
I.1.3.3. Diagramme Ombrothermique de Gaussen.....	30
I.1.3.4. L'humidité.....	31

I.1.3.5. Le vent.....	31
I.2. Choix des points des prélèvements	32
I.3. Description des régions d'étude.....	32
I.3.1. Barrage d'El Agrem.....	32
I.3.2. La source de Texanna	33
I.3.3. Barrage de Kissir.....	34
I.3.4. La source de Bachelot.....	34
I.4. Prélèvement des échantillons et conservation	35
I.4.1. Flaconnage des échantillons	35
I.4.2. Prélèvement et conservation des échantillons	35
I.4.3. Préparation des échantillons	35
I.4.3.1. L'acidification.....	35
I.4.3.2. La filtration	36
I.4.3.3. Conservation des échantillons	36
I.5. La technique d'analyse des métaux lourds (SAA)	36
I.5.1. Principe de la spectrométrie d'absorption atomique	36
I.5.2. Etalonnage.....	36

Chapitre II : Résultats et discussion

II.1. Résultats.....	38
II.1.1. Concentration du Cadmium dans les eaux de consommation de la wilaya de Jijel	38
II.1.2. Concentration du Plomb dans les eaux de consommation de la wilaya de Jijel	39
II.1.3. Concentration du Zinc dans les eaux de consommation de la wilaya de Jijel	40
II.2. Discussion.....	41
Conclusion.....	44
Références bibliographiques	45
Annexes	I

Tableaux	Titre	Page
Tableau 01 :	Origines et natures de différentes sources de pollution du milieu aquatique	09
Tableau 02:	Normes OMS et algériennes des paramètres physico-chimiques pour l'eau potable	10
Tableau 03 :	Normes OMS des substances toxiques pour l'eau potable	11
Tableau 04 :	Le tableau périodique	12
Tableau 05 :	Classification des principaux ETM selon leur affinité pour des ligands oxygénés (classe A), des ligands azotés ou soufrés (classe B) et pour les deux types de ligands (classe intermédiaire)	13
Tableau 06 :	Effets des éléments potentiellement toxiques (EPT) sur la santé et l'environnement	20
Tableau 07 :	Propriétés physico-chimiques du zinc	21
Tableau 08 :	Propriétés physico-chimiques du cadmium	23
Tableau 09 :	Propriétés physico-chimiques du plomb	25
Tableau 10 :	Moyennes mensuelles des températures dans la wilaya de Jijel (2006- 2016)	28
Tableau 11 :	Moyennes mensuelles des Précipitations dans la wilaya de Jijel (2006- 2016)	29
Tableau 12 :	Moyennes mensuelles de l'humidité dans la wilaya de Jijel (2006- 2016)	31
Tableau 13 :	Les points d'échantillonnages	32
Tableau 14 :	Teneurs Cadmium total dans les eaux des quatre stations.	38
Tableau 15 :	Teneurs Plomb total dans les eaux des quatre stations.	39
Tableau 16 :	Teneurs Zinc total dans les eaux des quatre stations.	40

Figure	Titre	Page
Figure1 :	Molécule d'eau	03
Figure 2 :	Le cycle de l'eau	04
Figure 3 :	Le cycle de l'eau de consommation	07
Figure 4 :	Situation géographique de la wilaya de Jijel	27
Figure 5 :	Variations des températures moyennes de la période (2006-2016).	28
Figure 6 :	Variations des précipitations moyennes de la période (2006-2016).	29
Figure 7 :	Diagramme Omrothermique de Gaussen de la période (2006-2016)	30
Figure 8 :	Variations de l'humidité moyennes de la période (2006-2016).	31
Figure 9 :	Teneurs en cadmium dans les eaux de consommation des quatre stations dans la wilaya de Jijel	38
Figure 10 :	Teneurs en Plomb dans les eaux de consommation des quatre stations dans la wilaya de Jijel	39
Figure 11 :	Teneurs en Zinc dans les eaux de consommation des quatre stations dans la wilaya de Jijel	40

Photos	Titre	Page
Photo 01 :	Barrage d'El Agrem	33
Photo 02 :	Barrage Texanna	33
Photo 03 :	Barrage Kissir	34
Photo 04 :	Barrage Bachelot	34
Photo 05 :	L'appareil spectrométrie d'absorption atomique de marque Aurora InstrumentsAL1200	37

°C: Degrés Celsius

μS/cm: Micro Siemens par centimètre

Al: Aluminium

As: Arsenic

Bi: Bismuth

Cd: Cadmium

CE: Conductivité Electrique

CH₃Hg: Méthyl-mercure

CIRC: Centre International de Recherche sur le Cancer

CNRS: Centre National de Recherché Scientifique

CO₂: dioxyde de carbone

Cr: Chrome

Cu: Cuivre

EPT: Effets des Eléments Potentiellement Toxiques

ETM : Eléments Traces Métalliques

Fe: Fer

FNS: Fondation Nationale de la Santé

g/cm³: Gramme par centimètre cube

g/kg: Gramme par kilogramme

Ge: Germanium

H₂O: L'eau

HAP: Hydrocarbure Aromatique Polycycliques

Hg: Mercure

HNO₃: L'acide nitrique

ISP: Internationale des Services Publics

Kg: Kilogramme

L: Litre

Mg/Kg: Milligramme par kilogramme

Mg: Milligramme

Mn: Manganèse

N₂ : l'azote

Ni: Nickel

NO₂⁻: Nitrites

NO₃⁻:Nitrates

O₂: Oxygène

OMS: Organisation Mondiale de la Santé

Pb: Plomb

PCB: Polychlorobiphényles

pH: Potentiel hydrique

SAA: Spectrophotométrie d'Absorption Atomique

SEQ-Eau: Système d'Évaluation de la Qualité de l'eau

Sn: Étain

Z : Le nombre d'atome

Zn: Zinc

µg/L: Microgramme par litre

µm: Micromètre

Introduction

L'eau constitue un élément indispensable pour la vie des êtres vivants et surtout à celle de l'homme. Elle est la matière première la plus vitale pour l'homme et son environnement celle que rien ne peut remplacer. Malheureusement, l'eau malgré son abondance sur la planète, les ressources en eau dans le monde sont sérieusement menacées dans leur quantité et leur qualité.

La consommation d'une eau potable salubre, facteur déterminant dans la prévention des maladies liées à l'eau, doit bénéficier par conséquent d'une attention particulière. En effet, l'eau destinée à la consommation humaine ne doit contenir ni substances chimiques dangereuses, ni germes nocifs pour la santé (**Coulibaly, 2005**).

La pollution de l'eau est un phénomène mondial qui n'épargne ni les océans, ni les eaux terrestres. Elle est engendrée par le développement de l'industrie et la diversité des activités humaines qui ont fait qu'aujourd'hui l'eau potable est devenue une denrée rare surtout dans les pays en développement (**Cazaban et al., 2005**).

Parmi les polluants pouvant contaminer les eaux, ces dernières années, sont les micropolluants métalliques, plus précisément, les métaux lourds. Ces éléments, souvent considérés comme peu toxiques par rapport à un certain nombre de composés organo-halogénés, présentent toutefois l'inconvénient majeur de ne pas être biodégradables.

En raison de leur persistance, les métaux lourds ne peuvent être réduits ou éliminés mais sont seulement transformés. C'est pourquoi leurs rejets dans les eaux et les sols constituent à long terme une menace particulière sur l'environnement (**Adriano, 2001**).

Les métaux lourds tels que le plomb, le cuivre, le cadmium et le chrome constituent un problème préoccupant lorsqu'ils sont impliqués dans la pollution des ressources en eau. Non seulement leur toxicité peut être fort dommageable pour le milieu aquatique, mais leur accumulation au fil de la chaîne alimentaire pourrait avoir des effets plus ou moins graves sur la santé humaine (**Loué, 1993**).

Ce travail est une contribution à l'étude de la contamination métallique de l'eau potable de certaines sources naturelles qui alimentent une large fraction de la population de la ville de Jijel.

Les points d'échantillonnage dans cette étude sont : l'eau de robinet en provenance deux barrages à savoir barrage de Kissir et barrage El-Agram ainsi que l'eau fournie par les camions citernes en provenance de la source de Texanna et de la source de Bachelot à Taher.

Notre travail comporte deux parties :

- ✓ La première partie représente une synthèse bibliographique sur l'eau potable et les métaux lourds.

- ✓ La deuxième partie est consacrée à l'étude expérimentale concernant deux chapitres, le premier réservé au matériel et méthodes et le deuxième sur les résultats et discussion.
- ✓ Enfin, le travail sera achevé par une conclusion générale.

Partie I
Synthèse
Bibliographique

Chapitre I

Qualités de l'eau potable

I.1. Généralités sur l'eau

I.1.1. Définition

L'eau liquide (H_2O) est souvent perçue comme une substance assez ordinaire car elle est transparente, inodore, insipide et se présente sur terre en grande quantité.

Cependant, c'est un composé chimique remarquable. Bien que nous la buvions et que nous l'utilisons pour laver, pêcher ou cuisiner, nous oublions presque toujours la relation spéciale qu'elle a avec nos vies (**Rodriguez, 2004**).

L'eau comme ressource naturelle est indispensable à la vie, qu'elle soit d'origine souterraine ou superficielle. Les eaux utilisées pour l'alimentation humaine sont rarement consommables telles quelles, il est nécessaire de leur appliquer un traitement, ne serait-ce qu'une désinfection dans le cas des eaux souterraines. L'eau que nous utilisons couramment est celle des lacs et des rivières, elle constitue seulement 1% de l'eau disponible sur terre (**Rodier, 1997 ; Valentin, 2000**).

L'eau naturelle filtrée est en général une solution ou on peut trouver :

- Des sels minéraux.
- Des gaz en solution (O_2 / N_2 , CO_2 ...).
- Des substances organiques (**Figure 01**).

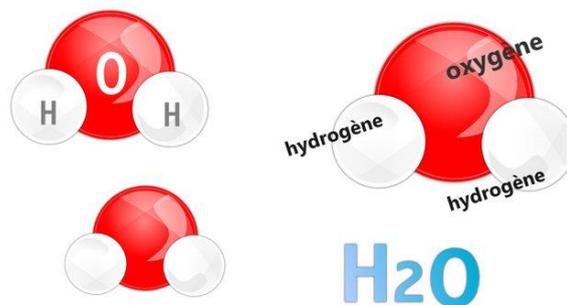


Figure 01. Molécule d'eau (**Spellman et Frank, 2008**).

I.1.2. Cycle de l'eau

Omniprésente et indispensable au maintien de la vie, l'eau est l'un des corps chimiques le plus essentiel de notre planète. Ses propriétés sont en outre tout à fait exceptionnelles.

L'eau recouvre 72 % de la surface de la terre. Pourtant, seule 0,65% de cette eau communément appelé eau douce est disponible dans les nappes souterraines (0,63%), les lacs et les rivières (0,02%). L'essentielle de l'eau présente sur terre se trouve dans les océans (97,2%), l'eau glacée ne représente, pour sa part, que 2,15% de l'eau potable (**Chouteau, 2004**).

La notion de cycle de l'eau évoque la permanence des échanges entre l'eau du sol et l'eau atmosphérique, par le jeu combiné de l'évaporation et des précipitations (**Cosandey et al, 2003**).

L'eau suit de façon perpétuelle un cycle de renouvellement et qui peut être synthétisé à l'échelle terrestre de la façon suivante:

- La source principale d'eau douce provient de l'évaporation des océans (sous l'effet du soleil), à laquelle s'ajoutent l'évaporation des rivières et lacs, ainsi que l'évapotranspiration des végétaux.
- Cette vapeur d'eau se condense dans l'atmosphère et retombe sous forme de précipitations (pluvieuses ou neigeuses) dont une partie parvient aux cours d'eau :
 - Soit directement par ruissellement.
 - Soit indirectement par infiltration, stockage dans les nappes puis restitution aux cours d'eau à la faveur des exurgences (**Genin et al, 2003**) (figure 02):

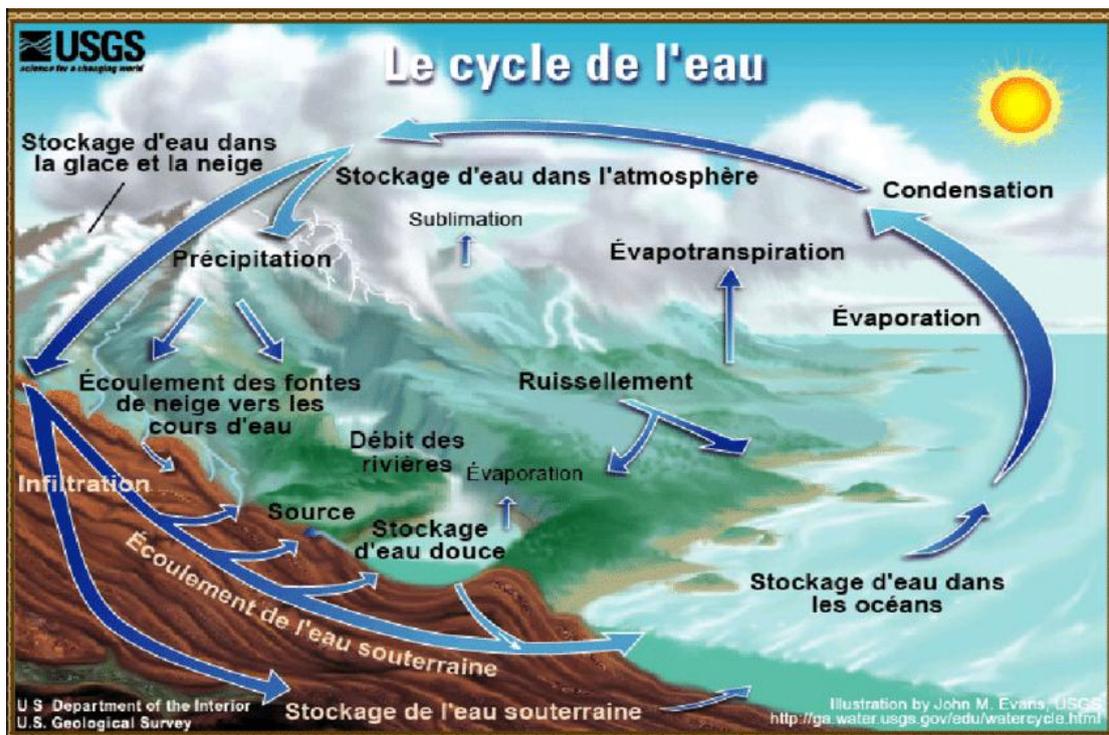


Figure 02. Le cycle de l'eau (**Gleick, 1996**).

I.1.3. Ressources en eau

Les réserves disponibles des eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surface retenues ou en écoulement (barrages, lacs, rivières) et des eaux de mer (**Festy et Tricard, 1989**).

I.1.3.1. Eaux de surface

Elles sont constituées par toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Elles ont pour origine les eaux de ruissellement ou les nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseau puis de rivière (**Boeglin, 2000**).

Ces eaux se rassemblent en cours d'eau caractérisés par une surface de contact eau-atmosphère en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (étangs, lacs) ou artificielles (retenues, barrages) caractérisées par

une surface d'échanges eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour souvent élevé (Maiga, 2005).

I.1.3.2. Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont toutes les eaux qui se trouvent sous la surface du sol, dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol. Elles sont représentées sous trois formes, l'eau de constitution, l'eau de rétention et l'eau libre (c'est l'eau de gravité, l'eau disponible pour les nappes phréatiques et les aquifères, et qui est donc disponible et exploitable, par un forage ou un puits) (Collin, 2004).

I.1.3.3. Eaux de mers et océans

Les mers et les océans constituent des énormes réservoirs d'eau, elles représentent près de 97.4% du volume d'eau existant actuellement sur notre planète, le reste est la part des eaux continentales (eaux souterraine et superficielles). Les eaux de mers sont caractérisées par une grande salinité, elles sont dénommées aussi « eaux saumâtres », ce qui rend leur utilisation difficile, notamment leur coût très élevé pour leur traitement (Boglin, 2001).

I.2. Généralités sur l'eau potable

I.2.1. Définition de l'eau potable

Une eau potable est une eau dont la composition et les qualités sont telles qu'elles ne puissent porter atteinte à la santé des consommateurs (Grosclaude, 1999).

Selon (Hoffman et al, 2014), les eaux potables représentent l'ensemble des eaux dont les propriétés chimiques, bactériologiques, biologiques et organoleptiques les rendent propres à la consommation humaine. La plupart des eaux potables proviennent des eaux souterraines et des eaux de sources (Bliefert et Perraud, 2001).

I.2.2. Caractéristiques d'une eau de consommation

Une eau de consommation est une eau propre à l'alimentation, donc dépourvue de tout élément nocif. Elle doit être :

- ✓ Limpide, incolore, inodore, fraîche (7-12°).
- ✓ Aérée (30cm³ de gaz par litre). L'eau bouillie est indigeste.
- ✓ Pourvue d'une faible proportion de sels minéraux (carbonates, sulfates, chlorures) qui lui donnent une saveur faible mais agréable et une certaine valeur nutritive. L'eau ne doit pas contenir plus de 0,50g/L de sels minéraux.
- ✓ Dépourvue de matières organiques, dont la présence est un indice de souillure. On en tolère 5mg/L au maximum. Favorables au développement des microbes, ces matières en se putréfiant, donnent une odeur désagréable et des produits toxiques.

- ✓ Dépourvue de germes, de vers, de parasites et de microbes pathogènes. L'eau potable n'est pas stérile. On y tolère de 100 à 1000 bactéries non pathogènes par cm³. Par contre elle ne doit contenir ni germes parasitaires, ni microbes pathogènes (**Maiga, 2005**).

I.2.3. Les types des eaux destinées à la consommation humaine

I.2.3.1. Les eaux de pluies ou eaux météoriques

Les eaux de pluie peuvent être collectées à partir des toitures des maisons dans des récipients ou dans des impluviums.

A l'origine ces eaux sont pures sur le plan microbiologique, mais sur le plan chimique, il leur manque souvent certains éléments indispensables à santé comme le sodium, magnésium, manganèse, fer, iode (**OMS, 1972**).

I.2.3.2. Les eaux de source

Une eau de source est une eau d'origine souterraine microbiologiquement saine et protégée contre les risques de pollution, apte à la consommation humaine (**Grosclaude, 1999**).

Les eaux de sources répondent aux mêmes critères de potabilité que l'eau du robinet (**Zella, 2007**).

I.2.3.3. Les eaux minérales

Les eaux minérales sont des eaux profondes qui peuvent contenir certains éléments en concentration supérieure à la concentration autorisée pour les eaux potables et qui sont douées de propriétés thérapeutiques reconnues.

Elles sont distribuées en bouteille, avec parfois certains traitements bien définis comme décantation naturelle, déferrisation par simple aération, élimination et/ou réincorporation du CO₂ originel (**Degrémont, 2005**).

I.2.4. Le cycle de l'eau de consommation

On peut dire qu'avant la distribution, des prélèvements d'eaux brutes sont captées dans le milieu naturel à l'aide des stations de pompages, soit par la prise d'eau superficielle ou par le **captage** d'eau souterraine. Ces eaux subissent des **traitements**, plus ou moins complexes selon la qualité des eaux destinés à éliminer les éventuels polluants et à garantir la qualité de l'eau potable dans les réseaux jusqu'au robinet du consommateur. Après le traitement, l'eau potable est **transportée** entre les ouvrages. Il peut être gravitaire lorsque l'écoulement de l'eau se fait naturellement, ou il nécessite la mise en place d'un pompage (transport par refoulement) ou elle **stockée** dans des réservoirs pour la distribuer aux différents abonnés, par des conduites de **distribution** et des conduites de branchement, soit de façon gravitaire par un réservoir, soit par un équipement de pompage (**figure 03**) (**DGS, 2005 ; Berrah, 2010**).

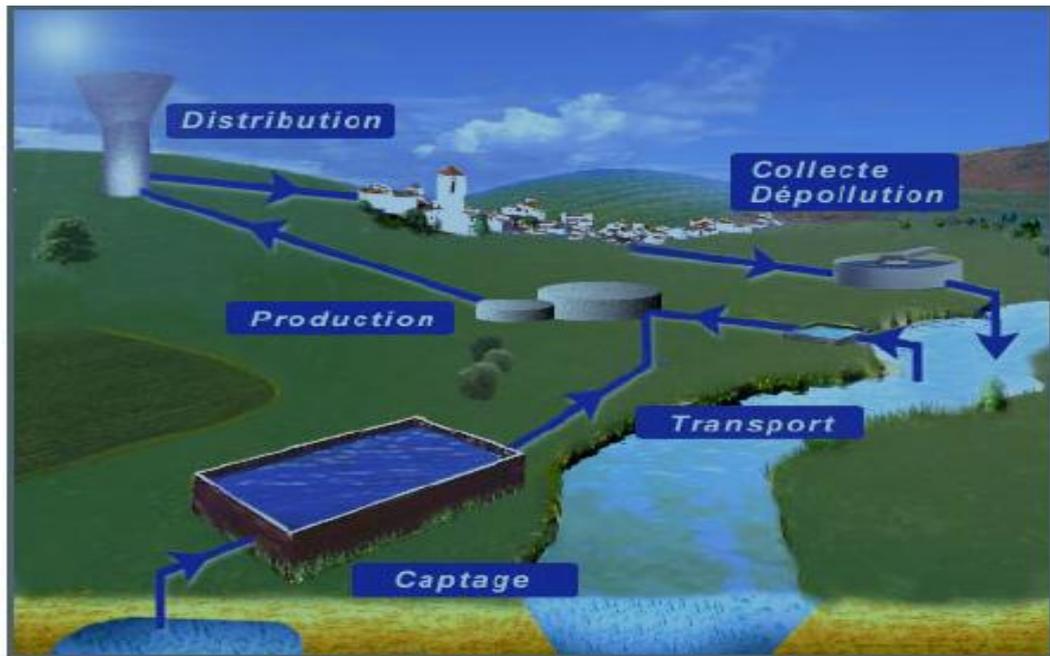


Figure 03. Le cycle de l'eau de consommation (Moulin, 2012).

I.2.5. Distribution jusqu'au robinet

Les canalisations constituent une partie vulnérable à la pollution des eaux, car elles sont exposées aux souillures les plus diverses, et les temps de transit sont parfois très long (semaine ou plus).

Les interactions eau-matériaux sont inévitables, tant sur le plan microbiologique que chimique. En raison de la difficulté croissante à fournir en quantité suffisante une eau d'alimentation parfaitement conforme aux critères de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine, certains ont proposé un double réseau de canalisation (Gérin *et al*, 2003).

On s'attache donc à améliorer la qualité des canalisations constituant les réseaux et la qualité de l'eau envoyée dans le réseau afin d'éviter les risques microbiologiques et chimiques de l'eau parvenant au consommateur (OMS, 1994).

I.2.6. Les besoins humains en eau

Le besoin quotidien d'un adulte est d'environ 35 g/kg, rapporté au poids corporel ; ceci signifie qu'un adulte de 70 kg a besoin d'environ 2,5 L d'eau potable par jour, c'est-à-dire de 50000 à 60000 L au cours d'une vie.

Les hommes peuvent vivre plusieurs semaines sans manger, mais ne peuvent tenir que 5 à 6 jours sans boire.

L'eau évacuée par la respiration, la transpiration et par d'autres voies, est remplacée par des boissons et par l'eau présente dans la nourriture (Bliefert et Perraud, 2009).

I.3. La pollution de l'eau

I.3.1. Définition d'une eau polluée

L'eau à l'état naturel, superficielle ou souterraine, n'est jamais pure ; c'est un milieu vivant qui se charge très rapidement de divers éléments en contact des milieux qu'elle traverse et sur lesquelles elle ruisselle. Ces éléments peuvent être présents dans l'eau sous trois états (gaz, solide, liquide), possédant un caractère minéral ou organique parfois toxique, et à l'état particulaire, avoir des dimensions très variables (**Zmirou, 2000**).

La notion de la pollution ne se réfère pas à la pureté des eaux ni même à leurs aptitudes, mais aux modifications de leurs caractéristiques dues aux actions humaines, un cours d'eau est considéré comme étant pollué lorsque la composition ou l'état de ses eaux sont directement ou indirectement modifiées par l'action de l'homme dans une mesure telle que celles-ci se prêtent moins facilement à toutes les utilisations auxquelles elles pourraient servir à leur état naturel, ou à certaines d'entre elles (**Arouya, 2011**).

I.3.2. Les origines de la pollution de l'eau

I.3.2.1. Origines naturelles

Certaines substances naturellement présentes dans l'environnement entraînent parfois des problèmes de contamination de l'eau potable. Des composés inorganiques comme le baryum, l'arsenic, les fluorures, le sodium, les chlorures, le mercure, le cadmium et les cyanures peuvent contaminer l'eau potable. L'eau souterraine est particulièrement vulnérable lorsqu'il y a présence de métaux dans les formations géologiques environnantes (**Djabri, 1996**).

I.3.2.2. Origines anthropiques

Toute substance d'origine strictement anthropique que l'homme introduit dans un biotope donné dont elle était absente ou encore dont elle modifie et augmente la teneur dans l'eau lorsqu'elle y est spontanément présente. Qui perturbent l'équilibre aquatique en transformant les rivières en égouts à ciel ouvert (**Bernard, 1989**).

I.3.2.2.1. Pollution agricole

Les pollutions des eaux superficielles et souterraines s'effectuent dans le domaine agricole de façon diffuse ce qui les rend à la fois moins visibles et plus difficiles à maîtriser que les pollutions d'origine industrielles ou urbaines (**Colin, 2007**). L'agriculture peut produire une pollution ponctuelle, comme les fuites de stockage des sous produits de l'élevage; jus de fumiers ou d'ensilage, ou les fuites d'engrais ou de produits phytosanitaires, lors de la préparation des solutions à épandre ou lors du rinçage du matériel. De plus, les engrais et pesticides épandus constituent une source de pollution diffuse, la végétation et le sol constituant un réservoir de polluants facilement

mobilisable par l'eau d'infiltration, cette pollution est mise en circuit lorsque les conditions météorologiques sont défavorables (Gilliet *al.*, 2004).

I.3.2.2.2. Pollution domestique et urbaine

La pollution urbaine et domestique regroupent les eaux de vanes (urines, matières fécale), les eaux ménages (eaux de cuisine et de salle de bains) qui contiennent des graisses, du savon, des détergents. Ces effluents sont généralement collectés par réseaux d'égouts et rejetés en milieu naturel après passage ou non par une station d'épuration.

Elles regroupent aussi des ordures ménagères collectées par des camions bennes, ces déchets soit stockés dans des aires spécialisées, soit éliminés à l'aide des différents procédés après tri sélectif ou non (Augier, 2008).

I.3.2.2.3. Pollution industrielle

Elle est caractérisée par une très grande diversité, suivent l'utilisation de l'eau dans les procès (refroidissement, lavage, extraction, mise en solution,...etc.), et l'activité de l'usine (chimies, traitement de surface, agroalimentaire,...etc.). On peut donc retrouver dans l'eau, qui est un bon solvant, tous les sous-produits possibles de l'activité humaine.

Ces rejets sont souvent bien individualisés, mais dans la plupart des cas raccordés à des réseaux plus importants d'assainissement urbain ou de zones industrielles, voire de collecte d'eaux pluviales (Genin *et al.*, 2003).

Tableau 01. Origines et natures de différentes sources de pollution du milieu aquatique (Chouteau, 2004).

Type de pollution	Nature	Origines
Physique	Rejets d'eau chaude	Centrales thermiques, nucléaires
	M.E.S. (matières en suspension)	Rejets urbains, érosion des sols
Chimique	Matière organique	Effluents domestiques, agricoles, agroalimentaires
	Fertilisants (nitrate, phosphate)	Agriculture, lessives
	Métaux (Cd, Pb, Hg, Al, As...)	Industrie, agriculture, déchets
	Pesticides (insecticides, herbicides, Fongicides)	Industrie, agriculture
	Organochlorés (PCB, solvants)	Industries

	Composés organiques de synthèse	industries
	Détergents	Effluents domestiques
	Hydrocarbures	Industrie pétrolière, transports
Biologique	Bactérie, virus, champignons...	Effluents urbains, agricoles

I.4. Les paramètres de qualité des eaux potable et leurs normes

I.4.1. Paramètres physico-chimiques

Les scientifiques évaluent la qualité de l'eau souterraine en mesurant les quantités des divers constituants contenus dans l'eau. Ces quantités sont souvent exprimées en milligrammes par litre (mg/l).

Tableau 02. Normes OMS et algériennes des paramètres physico-chimique pour l'eau potable (OMS, 2003 ; JORA, 2011).

Eléments/substance	Unité	Normes OMS	Normes algériennes
Température	C°	<25	<5
Turbidité	NTU	<2,5	<2
Conductivité à 20°C	µS/cm	<2100	<2800
Dureté	Mg/l de CaCO ₃	<500	<500
Fer (Fe)	mg/l	<0.3	<0.3
Cuivre	mg/l	<2	<2
Zinc	mg/l	<3	<5
Fluorure	mg/l	<1.5 mg/l (Jusqu'à 10)	<1.5
Calcium	mg/l	<270	<200
Magnésium	mg/l	<50	<150
Nitrate	mg/l	<50	<50
Nitrite	mg/l	<0.1	<0.1
Sulfate	mg/l	<400	<400
Phosphate	mg/l	<0.5	<0.5
Ammonium	mg/l	<0.5	<0.5

I.4.1.1. Les paramètres physicochimiques liés aux substances toxiques

Des substances présentes dans l'eau et dans la terre sont des éléments nécessaires à la vie des plantes et des animaux. Au de là du seuil maximum, ils inhibent la croissance et deviennent toxiques.

En toxicologie, ils peuvent être définis comme **des métaux** à caractère cumulatif (dans les tissus gras), ayant des effets très néfastes sur les organismes vivants.

Leur seuil acceptable prend en compte une marge d'incertitude à partir d'une valeur considérée comme toxique (**Guemaz, 2006**).

Selon les normes OMS les valeurs de concentrations des substances toxiques doivent être inférieures ou égales aux valeurs suivantes (**Tableau 03**).

Tableau 03. Normes OMS des substances toxiques pour l'eau potable (**Lenntech, 2006**).

Substances toxiques	Normes OMS
Arsenic	0,01 mg/l
Baryum	0,7 mg/l
Cadmium	0,003 mg/l
Chrome total	0,05 mg/l
Cuivre	2 mg/l
Cyanure	0,07 mg/l
Mercure	0,006 mg/l
Plomb	0,01 mg/l
Sélénium	0,01 mg/l

Chapitre II

Généralités sur les métaux lourds

II.1. Définition

Les éléments traces métalliques (ETM) correspondent aux 68 éléments minéraux constituant de la croûte terrestre avec des concentrations pour chacun d'entre eux inférieures à 0.1 % et représentant seulement 0,6 % du total des éléments (**Baize, 1997**).

Il est à noter que dans la littérature le terme « métaux lourds » est souvent utilisé comme synonyme des ETM ou éléments traces. Cependant, l'utilisation de ce terme est critiquée (**Duffus, 2002; Hodson, 2004**), car certains auteurs définissent les métaux lourds selon leur densité (à partir de 3.5 à 6 g cm^{-3}), d'autres, en fonction de leur masse atomique ou de leur numéro atomique.

De plus, l'appellation « métaux lourds » est souvent utilisée pour désigner des éléments qui ne sont pas des métaux tels que l'arsenic ou le sélénium (**Park et al., 2011**).

Les définitions des métaux lourds sont multiples et dépendent du contexte dans lequel on se situe ainsi que de l'objectif de l'étude à réaliser.

D'un point de vue chimique, les éléments de la classification périodique formant des cations en solution sont des métaux.

D'un point de vue physique, le terme « métaux lourds » désigne les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes, caractérisés par une forte masse volumique supérieure à 5 g.cm^3 (**Adriano, 2001**).

Et d'un point de vue purement scientifique et technique, les métaux lourds peuvent être définis comme :

- ❖ Tout métal ayant une densité supérieure à 5 g/cm^3 .
- ❖ Tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du sodium ($Z = 11$).
- ❖ Tout métal pouvant être toxique pour les systèmes biologiques (**Popescu, 1998; Bliefert et Perraud, 2007**).

Tableau 04. Le tableau périodique (**Mir, 2016**).

Bloc S																		Bloc p					
H		■ Métaux lourds de densité > 5																					He
Li	Be																	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Bloc d										Al	Si	P	S	Cl	Ar						
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr						
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe						
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn						
Fr	Ra	Ac	Bloc f																				
Lanthanides			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu							
Transuraniens			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Cf	Bk	Es	Fm	Md	No	Lr							

Dans l'industrie en général, on considère comme métal lourd tout métal de densité supérieure à 5 de numéro atomique élevé et présentant un danger pour l'environnement.

Les ETMs associés aux notions de pollution et de toxicité sont généralement : l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le manganèse (Mn), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le zinc (Zn).

II.2. Classification des métaux lourds

La théorie de Pearson (**Pearson, 1963**) ; permet de classer les métaux en fonction de leurs affinités et donc de leur faculté de liaison soit avec l'oxygène (Classe A) soit avec les ligands porteurs d'azote ou de soufre (classe B). Entre les deux, on trouvera les métaux de classe intermédiaire (borderline) qui présentent des caractéristiques propres aux deux classes. Cette distinction reflète davantage la facilité des métaux à traverser les membranes cellulaires, à être stockés au sein de granules de détoxification ou à être complexés à des protéines fixatrices de métaux. Les différentes classes de métaux sont présentées dans le tableau 5.

Tableau 05. Classification des principaux ETM selon leur affinité pour des ligands oxygénés (classe A), des ligands azotés ou soufrés (classe B) et pour les deux types de ligands (classe intermédiaire) (**Hopkin, 1989**).

Classe A	Classe intermédiaire	Classe B
Calcium	Zinc	Cadmium
Magnésium	Plomb	Cuivre
Manganèse	Fer	Mercure
Potassium	Chrome	Argent
Sodium	Cobalt	
Strontium	Nickel	
	Arsenic	
	Vanadium	

D'un point de vue biologique, on distingue deux types en fonction de leurs effets physiologique et toxique : **métaux essentiels** et **métaux toxiques**.

II.2.1. Essentiels

Sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques (**Loué, 1993**).

Cependant, certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration devient accidentellement élevée (**Behanzinet al., 2014**). C'est le cas du cuivre (Cu), du nickel (Ni), du zinc (Zn), du fer (Fe).

II.2.2. Non essentiels (toxiques)

Les métaux toxiques ont un effet toxique sur les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd) (**Kabata-Pendias et Pendias, 2001**).

II.3. Les différentes sources des métaux lourds

Les métaux lourds qui se trouvent dans les écosystèmes proviennent de différentes sources, l'une est naturelle, liée à la pédogenèse et constitue le fond géochimique, les autres sont d'origine anthropique et correspondent à des pollutions.

II.3.1. Les sources d'origine naturelle

Les réserves les plus importantes en métaux lourds se trouvent dans les roches et/ou les sédiments océaniques, ils sont introduits dans la biosphère via, les volcans, l'activité des sources thermales, l'érosion et l'infiltration (**Miquel, 2001**).

La concentration naturelle de ces métaux lourds dans les sols varie selon la nature de la roche, sa localisation et son âge. Les particules en suspension dans l'air, les gaz d'éruptions volcaniques, le feu de forêt, et la poussière continentale de métaux lourds (érosion éolienne des sols) ont toujours été une source naturelle pour le sol et les écosystèmes (**Davidson et al., 1985 ; Salomons et al., 1988**).

II.3.2. Les sources d'origine anthropique

Les métaux sont énormément utilisés dans l'économie mondiale. Ainsi, l'extraction et l'utilisation de matières premières, comme les combustibles fossiles par exemple, sont des sources de contamination communes.

De nos jours, plusieurs activités humaines ont conduit à une augmentation de la pollution par les métaux lourds. Ainsi les domaines les plus polluants sont :

- **L'agriculture** et l'utilisation massive des engrais (avec leur impuretés), des pesticides, de l'épandage de boues d'épuration, des lisiers (**Franklin et al., 2005**).
- **L'industrie** et ses rejets de poussières contenues dans les fumées émises, ou ses rejets d'effluents gazeux ou liquides.
- **L'urbanisation** et ses décharges de déchets urbains, l'augmentation de la circulation automobile et de la combustion de sources d'énergie fossile (**Sezgin et al., 2004**).

Les métaux lourds peuvent atteindre les parties du monde les plus éloignées des sites d'émission, ces polluants sont principalement issus de l'activité industrielle et de la circulation des différents moyens de transport (**Kabata-Pendias et Pendias, 1992 ; Robert, 1996**).

II.4. Principales propriétés physico-chimiques des métaux lourds

II.4.1. Solubilité

La solubilité dans l'eau indique la tendance à la mobilisation du métal par lessivage ou par ruissellement. La solubilité dépend de l'élément, des conditions chimiques de la phase aqueuse (pH, potentiel d'oxydoréduction, concentrations en ligands) et des phases solides environnantes.

La solubilité d'un élément peut varier selon sa spéciation, c'est-à-dire sa répartition entre différents états de valence, qui représente un paramètre essentiel notamment pour l'arsenic et le chrome (CERTU, 2004).

II.4.2. Persistance

Contrairement aux polluants organiques, les métaux lourds ne peuvent pas être dégradés biologiquement ou chimiquement, ils sont persistants. Les métaux sont transportés sur des grandes distances par l'air ou l'eau sans subir de transformation. Une des conséquences les plus sérieuses de la persistance des métaux est leur accumulation dans les chaînes alimentaires. Au bout de ces chaînes, les métaux peuvent atteindre des concentrations qui sont supérieures de plusieurs puissances de dizaines à celles trouvées dans l'eau ou dans l'air (Beliefert et Perraud, 2004).

II.4.3. Volatilité

La volatilité influe sur la libération par évaporation naturelle des polluants infiltrés dans les sols. D'une façon générale, les métaux sont à considérés comme non volatils à l'exception du mercure (CERTU, 2004).

II.5. Les facteurs influençant la mobilité des métaux lourds

II.5.1. pH

Les métaux lourds sont généralement plus solubles et plus mobile à pH acide qu'à des pH élevés. En milieu acide ils se trouvent sous forme d'ion libre, alors qu'une augmentation progressive du pH (donc des concentrations en ions hydroxydes) provoque la formation de complexes métalliques hydroxylés (Hahne et Kroontje, 1973).

II.5.2. Température

La température du sol dépend en premier lieu de la météorologie, et donc du climat, mais elle est également liée à l'activité biologique et influence rétroactivement la formation de complexes avec des ligands inorganiques, en modifiant l'activité de l'élément en solution (Deneux-Mustin *et al.*, 2003).

La température a un impact direct sur la mobilité des éléments métalliques en déplaçant les équilibres des réactions de dissolution-précipitation et Co-précipitation, et un impact indirect, en modifiant la teneur en eau du sol et son pH (Zorrig, 2011).

II.5.3. Force ionique

La force ionique est un des principaux facteurs qui influence l'activité des ions en solution.

Elle dépend des ions présents dans le milieu liquide, anions et cations. Ainsi, des complexants solubles vont également faciliter la remise en solution d'éléments métalliques. Ils vont entrer en compétition avec les groupements fonctionnels des sites de surface des solides pour complexer les métaux et les stabiliser en solution. Ces ligands peuvent être inorganiques (Cl^- , SO_4^{2-} , etc.), organiques (phénolates, carboxylates, etc.) ou anthropiques. Notamment, la présence de chlorures dans les sédiments marins est une spécificité importante de ces matériaux, capable d'intervenir dans la mobilisation des ETM (Paalmanet al., 1994; Mayer et al., 2008).

II.5.4. Influence des conditions d'oxydoréduction

Les conditions d'oxydoréduction peuvent influencer le comportement des éléments traces métalliques soit directement en jouant sur la valence d'élément (Roulier et percherancier, 2003), ou indirectement par son influence directe sur les phases piégeantes (Deneux-Mustinet al., 2003).

D'autre part la dissolution des oxydes et des hydroxydes est favorisée entraînant de manière opposée la solubilisation des métaux associés (Chaignon, 2001).

II.5.5. Action des micro-organismes

Les microorganismes peuvent agir directement ou indirectement sur les éléments par les processus d'oxydoréduction (Colinet, 2003).

L'action des micro-organismes peut aller dans le sens de solubilisation (production d'acide et de composés complexant...etc.), ou l'in-solubilisation (formation de sulfures métalliques insolubles, bioaccumulation ou bio-sorption par les microorganismes) des métaux lourds (Deschamps et al., 2006).

II.6. Contamination de l'environnement par les métaux lourds

II.6.1. Contamination de l'air

Les métaux lourds se dispersent dans les hautes couches de l'atmosphère et retombent ailleurs, après un transport sur de très longues distances. Les métaux lourds dans l'air peuvent se trouver principalement sous deux formes :

- ✓ Soit sous forme gazeuse pour certains composés métalliques volatiles ou dont la pression de vapeur saturante est élevée ;
- ✓ Soit sous forme de composés métalliques solides, déposés sur les très fines particules ou poussières formées lors des phénomènes de combustion (Veeresh, 2003).

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 (**Mitchell et al., 1992**).

II.6.2. Contamination des sols

La concentration naturelle de l'élément trace dans le sol résulte de son évolution à partir de la roche initiale. On parle de pollution des sols par un élément trace lorsque l'élément trace est présent à une dose constituant une menace pour l'activité biologique ou les fonctions du sol (**Schuhmacher et al., 1996**).

Le sol, comparativement à l'air et à l'eau, est le milieu qui reçoit les plus grandes quantités d'éléments en traces produites par les activités industrielles et constitue un lieu réceptacle des métaux lourds.

Les métaux peuvent être, soit fixés dans les roches et les sédiments, soit mobiles. Dans le premier cas, les quantités disponibles sont infimes, elles n'ont aucune influence sur l'environnement. Mais lorsque les conditions changent de telle manière que les métaux redeviennent solubles, l'augmentation de la concentration devient alors une menace directe sur l'environnement. En outre, depuis quelques années, les pluies acides augmentent la mobilité des métaux dans le sol et causent donc une augmentation de leur concentration dans les produits agricoles (**Bliefert et Perraud, 2004**).

II.6.3. Contamination de l'eau

En effet la migration des métaux lourds vers la nappe phréatique est fonction de nombreux paramètres : La forme chimique initiale du métal la perméabilité du sol et du sous-sol, et la teneur en matières organiques du sol.

Les principales sources de contamination de l'eau sont les suivantes : les eaux usées domestiques et industrielles, la production agricole, les polluants atmosphériques, les anciennes décharges, l'utilisation de substances dangereuses pour l'eau, la navigation (**Fishbein, 1981**).

II.7. Impact toxicologique des métaux lourds

La toxicité est un phénomène très complexe, résultant d'interactions multiples entre des substances néfastes et des organismes vivants (**Sasseville, 1980**).

Une substance est alors dite toxique lorsque mise en contact avec un organisme vivant, elle peut entraîner chez lui une réaction spécifique ou un stress compromettant la réalisation de ses

fonctions physiologiques ou point d'avoir des effets néfastes sur lui-même et sur sa progéniture (Sasseville, 1980).

Les ETM sont connus depuis longtemps pour leurs risques potentiels sur la santé des sujets exposés. De plus, Plusieurs études ont montré que l'accumulation des métaux lourds dans l'environnement a pour conséquences des effets préoccupants sur l'équilibre des écosystèmes et sur leurs populations (Salamon *et al.*, 1995).

La toxicité d'un métal est déterminée par la nature chimique de l'environnement aqueux et par la spéciation des métaux (forme chimique sous laquelle le métal est considéré) (Salamon *et al.*, 1995).

II.7.1. Exposition

Les hommes sont exposés par inhalation des polluants aériens, la consommation d'eau contaminée, l'exposition à des sols contaminés de déchets industriels.

Les métaux peuvent être absorbés sous la forme inorganique ou sous la forme organique. Pour certains éléments, comme l'arsenic et le cuivre, la forme inorganique est la plus toxique. Pour d'autres, comme Hg, Sn et Pb, les formes organiques sont les plus toxiques. La quantité de métaux absorbée par un homme influe directement sur sa santé (Ramade, 1992).

II.7.2. Effets sur l'environnement

Les métaux lourds ont des effets néfastes sur tous les compartiments environnementaux.

Les écosystèmes sont constitués de deux secteurs étroitement imbriqués qui déterminent leur structure, leur fonctionnement et leur évolution (Ghodbane *et al.*, 2008) :

- ✓ 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 (Berthelin *et al.*, 1998).

II.7.3. Effets sur la santé humaine

En fait, le risque sur la santé humaine est d'abord associé aux propriétés des métaux lourds à polluer les eaux, l'atmosphère, les aliments et les sols.

Les métaux lourds ne présentent pas tous le même risque en raison de leurs effets sur les organismes, de leurs propriétés chimiques, physicochimiques et biologiques (**Nadjiba *et al.*, 2018**).

Les organes cibles des métaux lourds sont multiples: les ions métalliques se fixent sur les globules rouges (Pb, Cd, CH₃Hg).

Les métaux s'accablent dans le foie et les reins (organes très vascularisés), les dents et les os accumulent le plomb. D'autre part, les métaux solubles dans les lipides comme le plomb, tétra-éthyle ou le méthyl-mercure peuvent pénétrer dans le système nerveux central.

Le danger est encore plus grand pour les enfants car chez eux la barrière hémato-encéphalique n'est pas entièrement développée (intoxication au plomb possible). Par diffusion passive et grâce à leur solubilité dans les lipides, le cadmium, le plomb, le nickel, le méthyl-mercure (CH₃Hg), traversent le placenta et peuvent s'y concentrer (**Omar, 2015**).

Les métaux transférés à l'homme peuvent être la cause d'un stress oxydatif qui représente l'un des facteurs potentialisant la genèse de maladies pluri factorielles telles que les maladies cardiovasculaires, le diabète, les rhumatismes, l'asthme, les cancers et les maladies neurodégénératives (**Nadjiba *et al.*, 2018**).

Ci-dessous nous reprenons les notions s'appliquant à la toxicité des métaux lourds :

- **Irritantes** : si, n'étant pas corrosives, par contact immédiat, prolongé ou répété avec la peau ou les muqueuses, elles peuvent provoquer une réaction inflammatoire.
- **Nocives** : si, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, elles peuvent entraîner la mort ou nuire à la santé de manière aiguë ou chronique.
- **Mutagènes** : si, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, elles peuvent entraîner des défauts génétiques héréditaires ou en augmenter la fréquence.
- **Cancérogènes** : si, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, elles peuvent induire le cancer ou en augmenter la fréquence.
- **Toxiques pour la reproduction** : si, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, elles peuvent produire ou augmenter la fréquence d'effets nocifs non héréditaires dans la progéniture (substances tératogènes) ou porter atteinte aux fonctions ou capacités reproductives mâles ou femelles.
- **Très toxiques** : si, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée en très petites quantités, elles entraînent la mort ou nuisent à la santé de manière aiguë ou chronique (**Sirven, 2006**).

Tableau 06. Effets des éléments potentiellement toxiques (EPT) sur la santé et l'environnement.
(Tonneau, 2003).

Métaux	Effet	
	Santé	Environnement
Cd	<ul style="list-style-type: none"> - potentiel toxique élevé - dommages rénaux pour des expositions chroniques à faibles doses - oxydes, chlorures, sulfates et sulfures de cadmium sont classés cancérigènes (observés sur des expérimentations animales) 	<ul style="list-style-type: none"> - perturbe l'écosystème forestier (décomposition de la matière organique, recyclage des nutriments) <i>Entraîne chez les mammifères :</i> - l'anémie - la diminution de la reproduction - la diminution de la croissance avec lésions du foie et des reins <i>Entraine chez les poissons :</i> - des faibles concentrations d'hémoglobine - la perte de calcium
Pb	<ul style="list-style-type: none"> - Entraîne l'anémie à forte doses - perturbe le système nerveux et les reins - effet mutagène de l'acétate et du phosphate de plomb (expérience animale) 	<ul style="list-style-type: none"> - effet neurologique (plomb méthylé) sur le comportement (mésos-faune et macrofaune) - inhibition de l'activité microbienne dans la décomposition de la matière organique
Zn	<ul style="list-style-type: none"> - pas d'effet cancérigène pour le zinc par voie orale ou inhalation - chromate de zinc cancérigène 	<ul style="list-style-type: none"> - perturbe l'écosystème forestier (décomposition de la matière organique, recyclage des nutriments)

II.8. Molécules candidates

II.8.1. Zinc (Zn)

II.8.1.1. Généralités

Le zinc est un élément trace essentiel pour l'homme, les animaux et les plantes supérieures. La concentration totale en Zn dans la lithosphère est approximativement de 80 mg/kg et la gamme de concentration rencontrée dans les sols varie entre 10 et 300 mg/Kg avec une concentration moyenne de 50 mg/kg (il ne représente que 0,012% de la croûte terrestre), il est présent dans l'eau, le sol et l'air.

Le zinc est, dans la nature, habituellement associé à d'autres métaux tels que le cuivre et le plomb. Parmi ces composés, citons :

- ✓ L'oxyde de zinc ZnO (blanc de zinc ou blanc de neige),
- ✓ Le chlorure ZnCl₂,
- ✓ Le sulfure ZnS (blende),
- ✓ Le sulfate ZnSO₄ (Kaiser, 2001)

Les apports anthropiques de Zn résultent de trois groupes d'activités majeures :

- Les sources minières et industrielles : traitement du minerai, raffinage, galvanisation du fer, gouttières, toitures, fabrication de piles électriques, piments, matières plastiques, caoutchouc.
- L'agriculture et ses épandages où le zinc est retrouvé en abondance dans les lisiers car il est fait partie de l'alimentation porcine.
- De nombreuses activités urbaines et le trafic routier libèrent du Zn dans l'environnement : toitures, gouttières, usure de pneus de voitures, incinération des déchets domestiques (**Baize, 1997**).

II.8.1.2. Propriétés

• Chimiques :

L'air sec n'attaque pas le zinc. Humide, il l'attaque et le ternit par formation d'une pellicule grise d'hydrocarbonate grise qui le patine et le protège contre l'oxydation. Il n'est pas considéré comme toxique.

Le zinc est facilement attaqué par les acides et d'autant mieux qu'il est moins pur, particulièrement les acides chlorhydrique et sulfurique (**NAS, 1997**).

• Physiques et mécaniques :

Métal blanc bleuâtre et brillant, susceptible de prendre un beau poli mais qui se ternit rapidement à l'air humide. Sa densité est de 7.2 et fond vers 420°C. Fondu, il se montre homogène à froid, il est cassant ; mais devient malléable et ductile entre 100 et 150°C (**NAS, 1997**).

Tableau 07. Propriétés physico-chimiques du zinc (**Lenntech, 2007a**).

Symbole chimique	Zn	
Numéro atomique	30	
Masse volumique	7.11 g/cm ³ à 20°C	
Masse atomique	65.37g/mol	
Etat d'oxydation	+2	
Température de fusion	420°C	
Température d'ébullition	907°C	

II.8.1.3. Utilisation

Le zinc est principalement utilisé pour les revêtements de protection des métaux contre la corrosion (galvanoplastie, métallisation, traitement par immersion). Il entre dans la composition de divers alliages (laiton, bronze, alliages légers). Il est utilisé dans la construction immobilière, les

équipements pour l'automobile, les chemins de fer et dans la fabrication de produits laminés ou formés (Lefort, 2003).

II.8.1.4. Comportement du zinc dans l'eau

La concentration du zinc dans les eaux naturelles est généralement faible et diminue encore par suite de son adsorption sur les matières en suspension et les sédiments, la solubilité des sels du zinc peut être importantes (Savary, 2003).

Bien que le zinc ne soit pas un élément sensible aux variations de potentiel redox, dans des milieux réducteurs, la formation de sulfures en phase aqueuse ou en phase solide est le processus contrôlant la disponibilité de ce métal dans l'environnement (Burnolet *al.*, 2006).

II.8.1.5. Toxicité de zinc

Le zinc est un oligo-élément entrant dans la composition de nombreuses métallo-enzyme (Viala et Botta, 2005). Il est doué de propriétés hermétiques et devient donc toxique à des concentrations relativement faibles (Ramade, 2000). L'inhalation des fumées d'oxyde de zinc peut conduire à une intoxication aigue caractérisée par une asthénie accompagnée de fièvre (Ramade, 2000). Les manifestations d'intoxication aigues se traduisent entre autres par des troubles digestives (Savary, 2003).

II.8.2. Cadmium (Cd)

II.8.2.1. Généralités

Le nom du cadmium vient de latin *cadmia*, « calamine », ancien nom donné au carbonate de zinc). Ce métal n'a été découvert et isolé qu'au début de XIX^{ème} siècle et il est resté inexploité jusqu'à ce que ces potentialités industrielles soient mises en évidence.

Le cadmium (stable) est un élément relativement rare présent dans l'écorce terrestre à des concentrations faibles. Ces principales formes cristallines sont : le greenockite et l'hawleyite (CdS), l'otavite (CdCO₃), le montéponite (CdO) et la cadmosélite (CdSe).

Cet élément n'est pas essentiel au développement des organismes animaux ou végétaux. En revanche, ses propriétés physiques et chimiques, proches de celles du zinc et du calcium, lui permettent de traverser les barrières biologiques et de s'accumuler dans les tissus (Zorrig, 2011).

La source de dispersion naturelle du cadmium dans l'atmosphère est principalement liée à l'activité volcanique. L'enrichissement en cadmium des sols et des systèmes aquatiques résulte de l'altération des matériaux de la croûte terrestre et des retombés atmosphériques (OCDE, 1994).

Les apports anthropiques de Cd résultent de trois groupes d'activités majeures :

- Les sources industrielles où l'on retrouve notamment le cadmium en tant que sous-produit du raffinage du zinc.

- Les épandages agricoles : le cadmium peut être assez abondant dans certains engrais phosphatés ou déposés lors de l'épandage de déchets d'élevage ou lors du chaulage.
- L'urbanisation et le trafic routier : incinération de déchets domestiques, piles électriques, usure des pneus de véhicules motorisés (**Loganathan et al., 2008**).

II.8.2.2. Propriétés

Le cadmium est un métal blanc argenté (**Casas, 2005**). Brillant mais qui se ternit, il est malléable et ductile, et sa pression de vapeur est assez élevée (**Cotton et Wilkinson, 1972**).

Il n'existe pas de minerai pur de cadmium à l'état naturel. On le trouve toujours associé aux minerais de zinc et plomb (**Dange, 2002**).

Le cadmium est rencontré sous forme métallique ou de sels (oxyde, chlorure, sulfure...etc.). Les sels de cadmium ont une très grande stabilité thermique et chimique (**Andujar et al., 2010**).

Tableau 08. Propriétés physico-chimiques du cadmium (**Lenntech, 2007b**).

Symbole chimique	Cd	
Numéro atomique	48	
Masse volumique	8.65 g/cm ³ à 20°C	
Masse atomique	112.41g/mol	
Etat d'oxydation	+2	
Température de fusion	321°C	
Température d'ébullition	767 °C	

II.8.2.3. Utilisation

Le cadmium a de multiples utilisations : notamment dans les écrans de télévision, les barres de contrôles des réacteurs nucléaires, les colorants (émail, glaçure). Il entre dans la composition de nombreux alliages à bas point de fusion (soudures, brasures) et sert à la fabrication de certaines batteries d'accumulateurs.

Mais ses principales utilisations sont celles de ces composés qui concernent les revêtements anticorrosion (appliqué sur l'acier par cadmiage, le cadmium protège contre la corrosion, en particulier saline) ou encore la fabrication de pigments de couleurs (jaune et rouge) (**Aranguren, 2008**).

II.8.2.4. Comportement de cadmium dans l'eau

Le cadmium est un élément rencontré en milieu aquatique sous diverses formes physiques (dissoute, colloïdale, particulaire) et chimique (minérale ou organique).

Un ensemble de variables physicochimiques du milieu (salinité, pH, caractéristiques édimentologique, concentration en chlorure ...) gouvernent les transformations du cadmium dans l'environnement aquatique (**Chiffoleau, 2001**).

II.8.2.5. Toxicité

Le cadmium est un toxique cumulatif, c'est-à-dire que ses effets toxiques sur l'organisme ne s'expriment que lorsque l'accumulation dans les tissus atteint un seuil (**Omar, 2015**).

Le cadmium est présent dans l'eau de boisson, les aliments, la fumée de cigarette. Il présente de fortes capacités à se retrouver dans les fumées et s'accumule après inhalation.

Le cadmium s'accumule dans des organes tels que la rate, le cerveau, les poumons, le muscle, le sang.

La toxicité du cadmium est liée à la perturbation du métabolisme du zinc et secondairement d'autres éléments essentiels tels que le calcium, le fer et le cuivre (**Waalkes, 2000**).

Les formes particulières du cadmium sont classées comme cancérogènes de groupe 1 par le CIRC (**Omar, 2015**).

II.8.3. Plomb (Pb)

II.8.3.1. Généralités

Le plomb est un élément rare dans l'environnement, la production mondiale de plomb s'est accrue considérablement depuis 1945 (**Cossa, 1993**). C'est un métal employé pour des applications très disparates depuis l'antiquité. Il est très souvent associé au zinc dans les minerais mais aussi à de nombreux autres éléments : Fe, Cu, Cd, Bi, Sb, Ge, As, Ag, Au qui sont en grande partie (sauf Fe) récupérés lors des opérations métallurgiques.

Les minerais de plomb proviennent d'une coproduction du traitement du minerai de cuivre, de zinc ou d'autres métaux, le principal minerai du plomb est la galène (PbS) très souvent associé à la blende et à la pyrite (**Chiffoleau, 2001**).

Les apports anthropiques de Pb résultent de cinq groupes d'activités (**Baize, 1997**) :

- Les sources principales sont liées à l'utilisation de composés organométalliques comme antidétonants dans les moteurs à explosion. Le métal est alors rejeté par les gaz d'échappement.
- Les sources industrielles : libération de Pb par les usines de traitement du minerai ou lors de recyclage des batteries.
- Les déblais des mines et les poussières des crassiers.
- Les boues de station d'épuration.
- Certains pesticides étaient fabriqués à base de Pb.
- Le Pb est un des polluants métalliques les moins mobiles dans le sol.

II.8.3.2. Propriétés

C'est un élément métallique de couleur gris bleuâtre, de symbole Pb et de numéro atomique 82 (Belabad ,2010). Le plomb est un solide brillant. Frotté entre les mains, il leur communique une odeur sensible. C'est l'un des métaux les plus mous, sans sonorité et il est rayé par presque tous les autres corps, même par les ongles on peut s'en servir pour tracer des caractères sur le papier, très malléable. Sa ténacité est peu considérable. Sa densité est de 11,445. Après le mercure, le potassium, le sodium, l'étain et le bismuth, c'est le métal le plus fusible, sa fusion a lieu vers 260°C de chaleur (Weber et Van Vliet, 1981).

Les principales caractéristiques physico-chimiques du plomb sont données dans le tableau suivant :

Tableau 09. Propriétés physico-chimiques du plomb (Lenntech, 2007c).

Symbole chimique	Pb	
Numéro atomique	82	
Masse volumique	11.34 g/cm ³ à 20°C	
Masse atomique	207.2g/mol	
Etat d'oxydation	+2	
Température de fusion	327°C	
Température d'ébullition	1740 °C	

II.8.3.3. Utilisation

L'utilisation du plomb est directement liée à la métallurgie (Belabad ,2010) ; Dans l'antiquité, pour la production de la monnaie, les canalisations et la vaisselle ; mais actuellement dans l'industrie, L'imprimerie, les peintures et les carburants automobiles. Cette dernière utilisation qui consistait à ajouter du plomb à l'essence comme antidétonant est aujourd'hui prohibée (Miquel, 2001).

II.8.3.4. Comportement du plomb dans l'eau

Bien qu'en milieu océanique, la majorité du plomb soit sous forme dissoute la fixation de ce métal sur des particules organiques suivi de leur absorption dans les sédiments, ainsi que leur incorporation dans la biomasse qui se sédimente également quand les organismes meurent (Ramade, 2000). Dans des conditions réductrices, les concentrations en plomb présente dans les eaux souterraines sont limitées par la solubilité de la phase solide hydroxyde, ou, dans certains cas, du plomb métallique, qui présente une stabilité élevée dans des conditions réductrices (Burnolet *al.*, 2006).

II.8.3.5. Toxicité

Le plomb est l'un des métaux les plus étudiés au monde du fait de sa toxicité et de sa présence dans les essences plombées.

Le plomb est un élément chimique toxique, par effet cumulatif, pour l'homme, la faune et la flore (**Chassard, 1995**). Chez les végétaux, le plomb affecte les membranes cellulaires et certains systèmes enzymatiques perturbant le flux des électrons dans les chaînes de transfert (**Miles *et al.*, 1972**).

Le plomb peut être absorbé par l'organisme par inhalation, ingestion, contact cutané (principalement lors d'une exposition professionnelle) (**Moore *et al.*, 1980**) ou par transmission à travers le placenta (**Angell et Lavery, 1982**). La présence de plomb dans l'organisme peut provoquer des troubles tels que le saturnisme, des crises d'épilepsie voire même des troubles nerveux et psychiques. Pour les personnes les plus exposées, il existe un risque d'avortement spontané, et d'accroissement du nombre de cancers du poumon ou du tractus gastro-intestinal (**Chassard, 1995**).

Partie II

Partie expérimentale

Chapitre I

Matériel et méthodes

I.1. Description de la wilaya de Jijel

I.1.1. Situation géographique de la wilaya de Jijel

La wilaya de Jijel est une région côtière, située au Nord-Est de l'Algérie dans la région de la petite Kabylie à une distance de 360 Km de la capitale, et est composée administrativement de 11 daïras formant 28 communes. Elle s'étend sur une superficie de 2.396,63 Km² avec une façade maritime de 120 Km.

Jijel est limitée au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par la wilaya de Skikda, à l'Ouest par la wilaya de Béjaia, au Sud par la wilaya de Mila, au Sud-Ouest par la wilaya de Sétif et enfin au Sud-Est par la wilaya de Constantine (figure 04) (DEP, 2017).

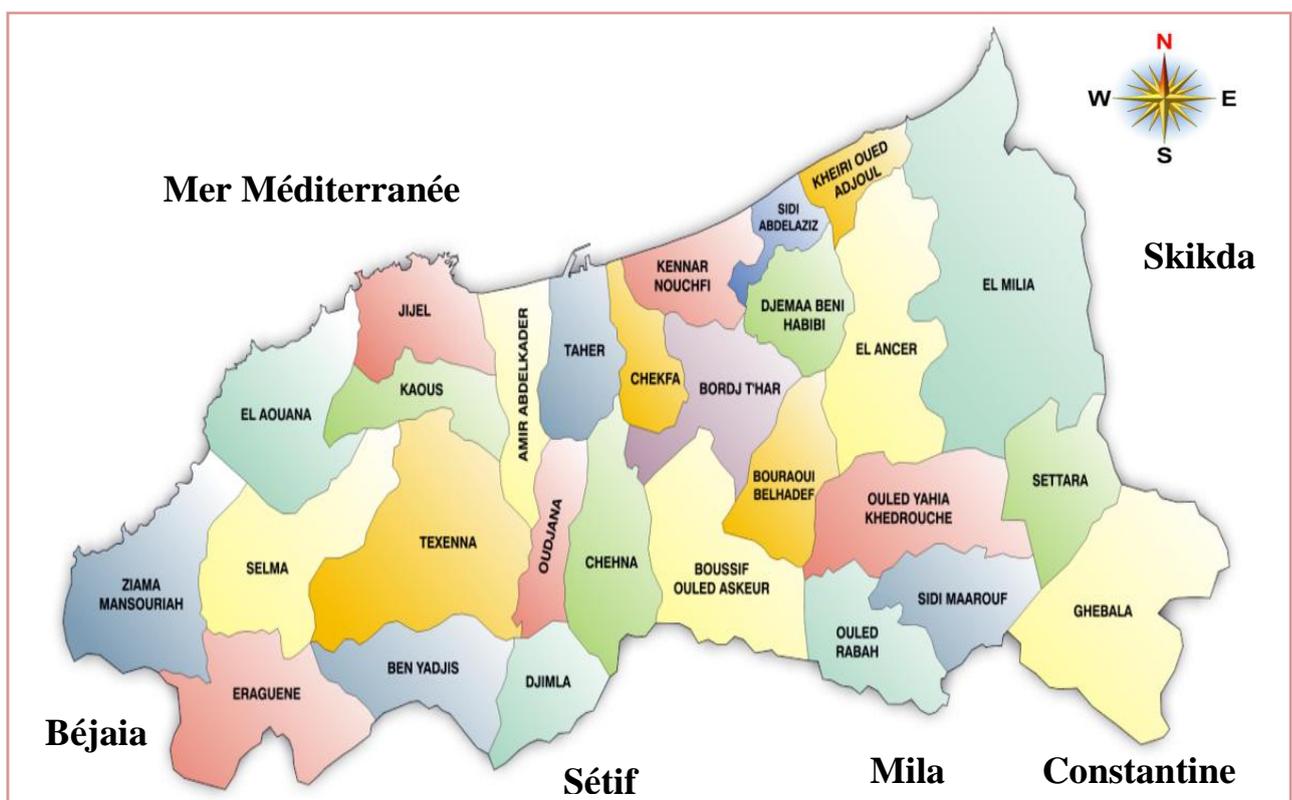


Figure 04. Situation géographique de la wilaya de Jijel (DEP, 2017).

I.1.2. Le réseau hydrographique

Avec une pluviométrie de 1200 millimètre par années, la wilaya de Jijel est considérée parmi les régions les plus pluvieuses en Algérie.

Elle reçoit chaque année des apports d'eau de pluies très importants, qui ruissellent généralement vers les principaux Oueds existants dans la nappe d'Oued Nil, la nappe d'Oued El-Kebir, la nappe d'Oued Djen-Djen, la nappe d'Oued Kissir, d'Oued El Agrem et la nappe d'Oued Mencha (ANRH, 2012).

I.1.3. La climatologie

Comme toutes les régions du littoral algérien, la région de Jijel est considérée parmi les régions les plus pluvieuses d'Algérie. Elle est bénéficiée d'un climat méditerranéen, pluvieux et froid en hiver, chaud et humide en été (ONM, 2017). Ainsi nous pouvons résumer les principales tendances climatiques de la région comme suit :

I.1.3.1. La température

Les données de températures pour la période 2006 à 2016 montrent que les minima de températures sont enregistrés est durant la saison hivernale et plus précisément durant le mois de Janvier. Les températures maximales sont observées durant la saison estivale, particulièrement au mois de juillet.

Tableau 10 : Moyennes mensuelles des températures (2006- 2016) (ONM, 2017).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
T C°	11.4	11.9	13.6	16.1	19.1	22.9	25.9	26.2	23.6	20.6	15.9	12.9

T : moyenne mensuelle des températures en °C.

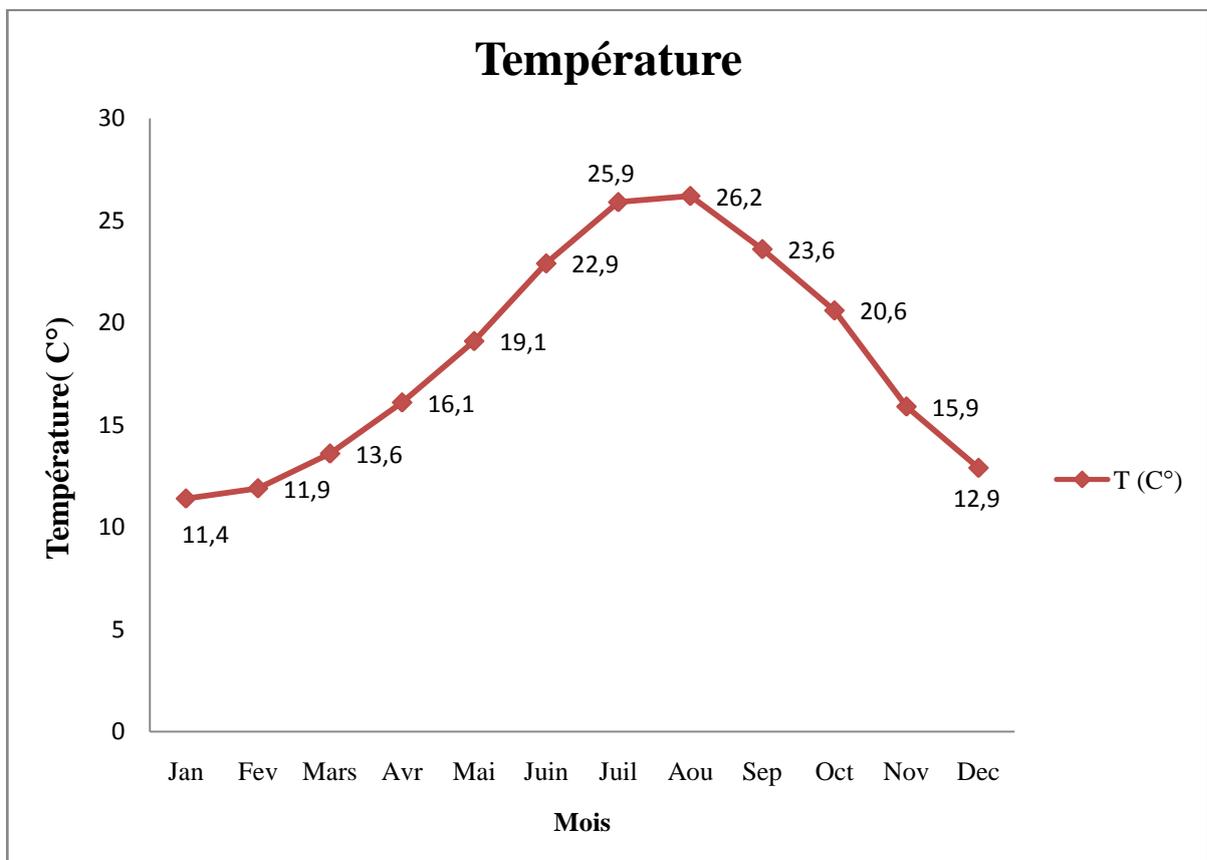


Figure 05. Variations des températures moyennes de la période (2006-2016) (ONM, 2017).

I.1.3.2. Les précipitations

Les pluies se manifestent essentiellement en automne et en hiver. Les précipitations y sont abondantes aux mois de Décembre, Janvier et Février et sont quasiment nulles aux mois de Juin, Juillet et Aout (ONM, 2017).

En outre, la wilaya de Jijel est caractérisée par une pluviométrie décroissante du Nord vers le Sud.

Elle est assez élevée sur les monts de Texenna avec plus de 1200 mm/an, alors qu'au niveau des plaines comme la zone de notre étude, les valeurs varient de 900 à 1000 mm/an (Berkane, 2011).

Tableau 11 : Moyennes mensuelles des Précipitations (2006- 2016) (ONM, 2017).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
P (mm)	149.21	137.44	104.76	97.58	43.43	19.11	2.95	20.29	56.79	91.42	156.9	203.98

P : moyenne mensuelle des précipitations en mm.

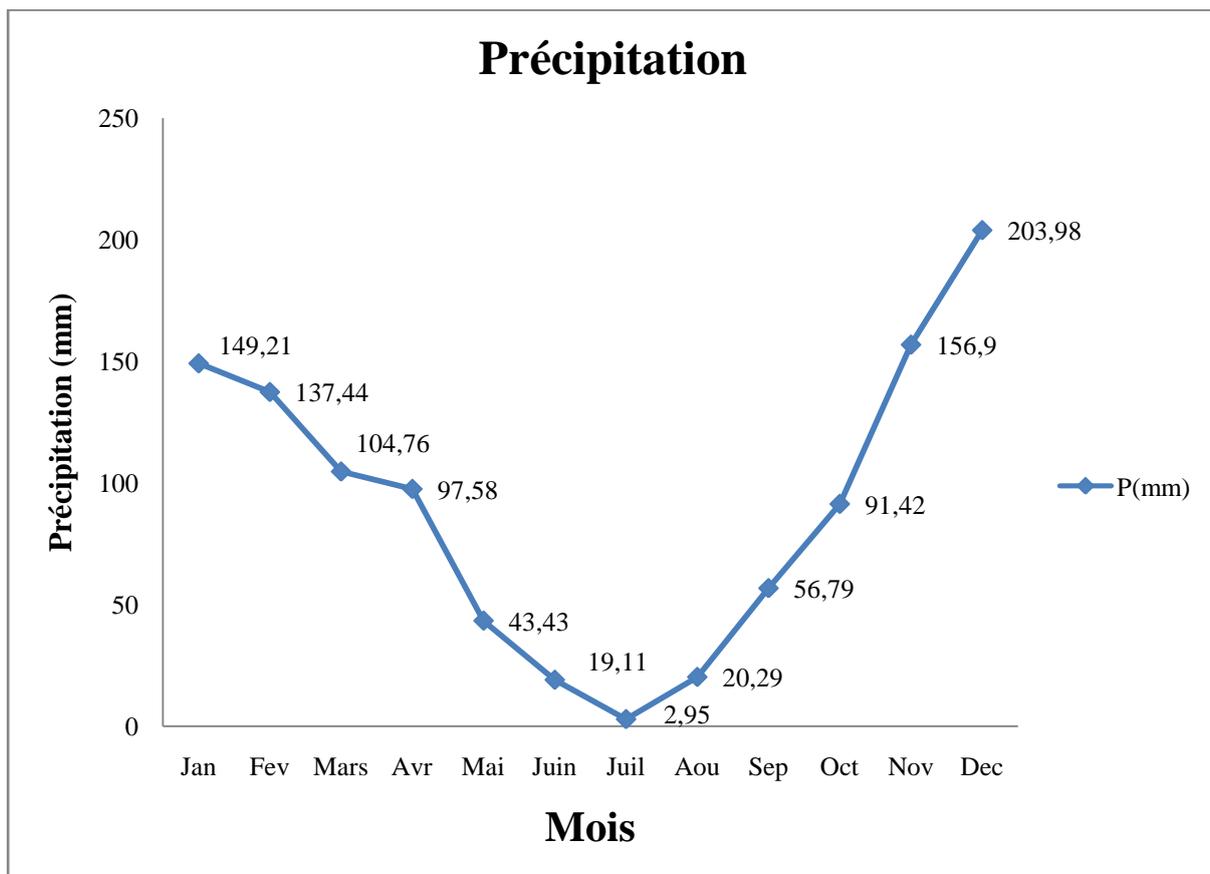


Figure 06. Variations des précipitations moyennes de la période (2006-2016) (ONM, 2017).

Ce tableau montre que les précipitations sont inégalement distribuées suivant les mois de l'année, la saison hivernale est la plus pluvieuse avec une moyenne de 219 .1 mm et un pic au mois de décembre et la saison estivale est la plus sèche avec une moyenne 1 .23 mm et un pic au mois de juillet.

I.1.3.3. Diagramme Ombrothermique de Gausсен

Le diagramme ombrothermique de Gausсен nous permet d'évaluer l'intensité et la durée de la période de sécheresse. Pour ce diagramme, les mois de l'année sont représentés sur l'axe des abscisses, il regroupe en même temps la courbe des précipitations représentée en ordonnée à droite en mm selon une échelle double de celle des températures représentées à gauche en C° ($P = 2T$) (Dajoz, 1996).

L'analyse de deux paramètres climatiques (précipitations et température) de la région de Jijel permet de tracer la courbe ombrothermique de Gausсен qui met en évidence deux périodes comme le montre la figure 07:

- ✓ L'une de sécheresse : s'étale du mois de mai au mois de septembre.
- ✓ L'autre humide s'étale du mois de septembre au mois de mai.

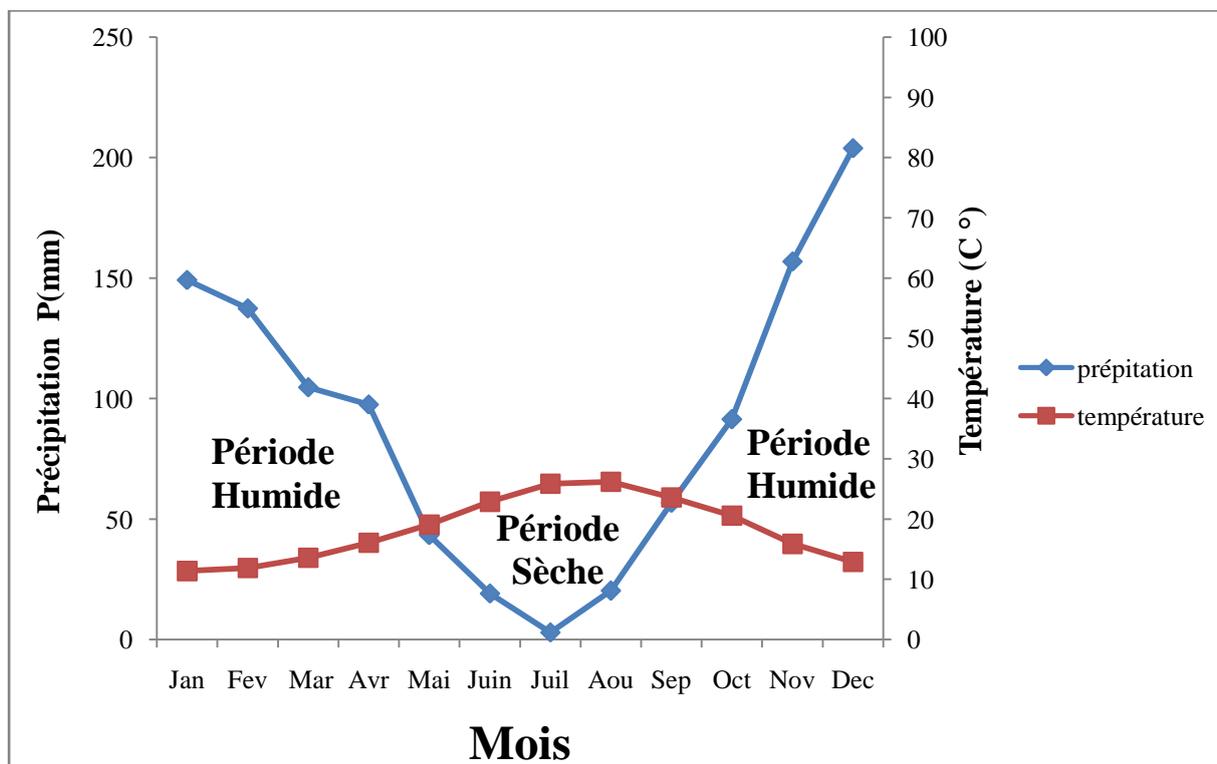


Figure 07: Diagramme Omrothermique de Gausсен de la période (2006- 2016) (ONM, 2017).

I.1.3.4. L'humidité

Dans l'atmosphère existe toujours une certaine quantité d'eau et cette humidité relative diminue la consommation d'eau de l'arbre en ralentissant sa transpiration, avec une atmosphère humide, une essence peut se contenter d'une moindre quantité de pluie (ONM, 2017).

Les valeurs enregistrées sont relativement homogènes, quoique les variations soient très petites entre les différentes valeurs, nous notons un maximum au mois de Janvier (77.3%) et un minimum en Septembre (66.1%).

Tableau 12: Moyennes mensuelles de l'humidité dans la wilaya de Jijel (2006- 2016) (ONM, 2017).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
H(%)	77.3	74.1	73.37	76.79	76.4	73.4	73.5	69.4	66.1	74.1	75.4	76.8

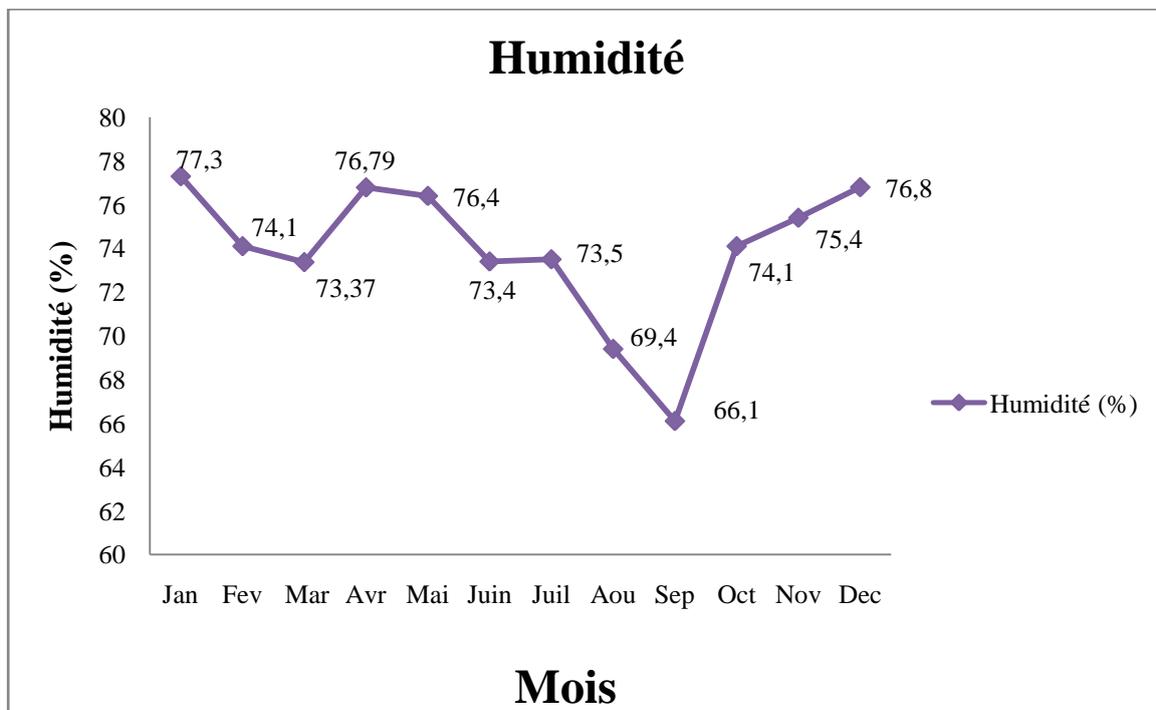


Figure 08. Variations de l'humidité moyennes de la période (2006-2016) (ONM, 2017).

I.1.3.5. Le vent

Il constitue, dans certaines conditions, un facteur écologique limitant par sa fréquence, sa température et son degré hygrométrique (Debieche, 2002).

D'après les données de la station de l'aéroport de Ferhat Abbas, les vents dominants soufflent généralement de la mer vers le continent selon la direction Nord-Est et Sud-Est (ONM, 2016).

La mer au Nord, donc le littoral est exposé aux vents dominants d'été sauf les parties protégées par les montagnes qui sont relativement à l'abri des bourrasques (Grimes, 2004).

I.2. Choix des points de prélèvement

Les citoyens de la ville de Jijel sont alimentés en eau potable via un réseau de canalisation provenant de deux barrages. Erigé à 9 km à l'ouest du chef-lieu de la wilaya, le premier barrage, celui de Kissir, est considéré comme un important ouvrage hydrique pour l'alimentation en eau potable de la ville de Jijel. C'est, d'ailleurs, grâce à son apport que cette agglomération est de plus en plus convenablement dotées en eau avec un système qui frôle le H24. Plus à l'est, la population de la commune de Jijel, est bénéficié des vertus hydriques d'un deuxième ouvrage qui est le barrage d'El Agrem qui est situé sur l'oued El Agrem à environ 15 km au sud-est de la ville de Jijel.

En plus de l'eau de canalisation, des camions citernes privés approvisionnent régulièrement beaucoup d'habitants de la ville de Jijel. Ces camions citernes apportent de l'eau potable à partir des sources naturelles situées dans la commune de Texanna et Taher. L'eau acheminée par ces camions citernes est très sollicitée par la population jijelienne car elle est souvent considérée, sans preuve établie, de meilleure qualité que celle qui coule des robinets de la ville.

En se basant sur ce qui précède, il s'est décidé de prendre en considération ces différentes sources utilisées pour l'alimentation en eau potable des citoyens de la ville de Jijel, les points d'échantillonnage dans cette étude étaient donc :

- Pour le barrage de Kissir : 3 échantillons l'eau de robinet des maisons de la ville de Jijel exactement de rue de camp chevalier.
- Pour le barrage El Agrem : 3 échantillons d'eau de robinet des maisons à kaous.
- Ainsi que 3 échantillons d'eau fournie par les camions citernes en provenance de la source de Texanna et de la source de Bachelot à Taher (**Tableau 13**).

Tableau 13 : les points d'échantillonnages

Nombre d'échantillons	Non du site	Abréviation
03	Maison camp chevalier	MCCH
03	Maisons à kaous	MK
03	Bachelot	/
03	Texanna	/

I.3. Description des régions d'étude

I.3.1. Barrage d'El Agrem:

Ce barrage est situé sur la commune de Kaous à environ 15 km au Sud-Est de la ville de Jijel. Il a été construit dont le but d'assurer l'alimentation en eau potable et industrielle et eau d'irrigation d'environ 6 500 Ha des périmètres agricoles situés à l'aval.

Le bassin versant d'El Agrem situé au Nord-Est du territoire algérien s'étend sur une superficie de 39.5 km².

Selon la nouvelle structuration des unités hydrologiques en Algérie, le bassin versant d'El Agrem appartient à l'ensemble de côtier constantinois. Globalement, le bassin versant peut-être subdivisé en trois grandes parties:

- Partie orientale avec comme principaux affluents l'oued Merhaba et l'oued Bou Bahri.
- Partie occidentale avec comme principaux affluents (oued Tezercourt, oued Harma et l'oued Abima).
- Partie septentrionale: qui débute pratiquement du l'oued El Agrem et s'étend jusqu'à lamer. L'oued El Mencha est le principal affluent de cette partie (ANBT, 2001).



Photo 01. Barrage d'El Agrem

I.3.2. La source de Texanna

Cette source est située au plein cœur de la ville de Texanna sur une altitude de 725 mètres avec un débit d'environ 18 l/min, elle assure une alimentation permanente en eau potable pour une grande partie des habitants de la région.



Photo 02. Source de Texenna

I.3.3. Barrage de Kissir

Le barrage de Kissir est situé approximativement à 14 Km à l'Ouest de la ville de Jijel et à 6 Km à l'Est de la localité d'El Aouna (ex-Cavalo) en suivant la route nationale RN 43 (Jijel –Bejaia).

L'axe du barrage de situe à moins de 1 Km de la mer et à environ de 300 m en amont à partir du nouveau pont routier sur l'Oued Kissir.

Sa capacité de retenue normale est de 68 millions de mètres cubes. Il est constitué d'une digue de 400 mètres de longueur et sa hauteur est de 56 mètres.

La largeur de la crête est de 8,50 mètres avec 4 ouvertures. Le réservoir du barrage se développera vers la direction SSE, le long de la vallée de l'Oued Kissir et vers l'Est, le long de la vallée de son affluent l'Oued Takielt (**Djamaa et Bouzit, 2018**).

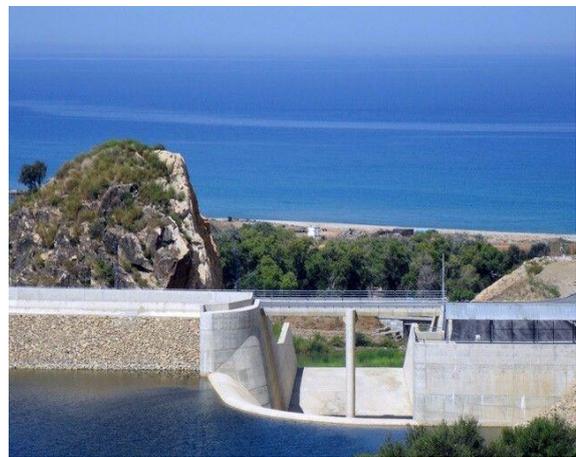


Photo 03. Barrage de Kissir

I.3.4. La source de Bachelot

La source de Bachelot est située dans la plaine de l'oued Nil dans la commune de Taher. Il s'agit d'une importante source d'eau, près de l'embranchement des routes, l'une menant à Ouled-Mansour. L'autre allant vers Chahna via Essikha, Zouitna et Khoula.



Photo 04. Source de Bachelot

I.4. Prélèvement des échantillons et conservation

I.4.1. Flaconnage des échantillons

Pour le dosage des métaux, le plomb, le cadmium et le zinc dans notre étude, nous avons prélevé l'eau potable de 4 sources à raison de trois échantillons par source, soit un total de 12 échantillons prélevés et analysés, pour cela nous avons utilisé 12 flacons de 250 ml en polyéthylène.

Pendant toutes les étapes du travail, les consignes pour éviter une éventuelle contamination ont été respectées. Les flacons subissent au préalable un nettoyage minutieux : lavage des flacons avec du détergent, suivi d'un rinçage abondant à l'eau de robinet.

Décontamination par l'acide nitrique : cette étape consiste en un trempage des flacons dans une solution d'acide nitrique (10 %) pendant 48 heures, associé d'un rinçage successif avec de l'eau distillée. En fin, un séchage à l'air libre sous la hôte pendant 12 heures.

Tout le flaconnage utilisé au cours des préparations de réactifs et de dosage (fioles, béchers, set de filtration, ...) a été décontaminé selon le protocole strict précédemment décrit pour le flaconnage sur terrain (**ISO, 2003**).

I.4.2. Prélèvement et conservation des échantillons

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (**Rodier, 2009**).

Les éléments à doser le matériel de prélèvement et de conservation doit être soigneusement sélectionné et doit faire l'objet d'une attention particulière (**Rodier et al, 1996**).

Pour chaque site, on prélève trois flacons d'échantillons. Pour un prélèvement adéquat de l'eau il faut également tenir compte des éléments suivants (**Devez, 2004**) :

- Avant la prise de l'échantillon, chaque flacon est rincé à trois reprises avec de l'eau à analyser et rempli à ras bord jusqu'à ce que le volume d'eau soit renouvelé trois fois.
- Une fois la prise de l'échantillon est effectuée, le flacon est fermé directement de façon à limiter le plus possible les bulles d'air.
- Après chaque prélèvement, un étiquetage rigoureux a été effectué pour éviter tout risque de confusion des échantillons (lieu, date,...).
- Les flacons ont été conservés, depuis le prélèvement jusqu'au laboratoire, dans une glacière portable et réfrigérée (à 4 C°) (**Devez, 2004**).

I.4.3. Préparation des échantillons

I.4.3.1. L'acidification

Pour assurer un meilleur conditionnement des échantillons, tous nos échantillons sont acidifiés par 5 ml de l'acide nitrique (HNO₃ 65 %) pour 200 ml d'eau à analyser, afin de ramener le

pH de l'échantillon inférieur à 2, car l'acide nitrique concentré est un oxydant puissant qui dissout tous les métaux usuels (**Rodier, 2005**).

I.4.3.2. La filtration

Après acidification, tous les échantillons sont filtrés au travers des membranes filtrantes de porosité 0,45 μm avec un appareillage de filtration en verre (filtration sous vide). Nous avons récupéré le filtrat dans des flacons propres pour déterminer la teneur totale en cadmium, plomb et zinc dans nos échantillons.

I.4.3.3. Conservation des échantillons

Avant l'analyse, les échantillons sont stockés à une température inférieure à 4 C° et à l'abri de la lumière.

I.5. La technique d'analyse des métaux lourds (SAA)

La Spectrophotométrie d'Absorption Atomique avec Flamme (SAAF) est de loin la méthode la plus couramment utilisée pour le dosage des métaux lourds (**Brokaert, 2005**). Ce dosage a été réalisée au niveau de laboratoire de l'université Jijel.

I.5.1. Principe de la spectrométrie d'absorption atomique

Le principe de la SAA est basé sur la propriété d'absorption atomique qui est une méthode utilisée pour l'analyse quantitative d'un grand nombre d'éléments chimiques, elle 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 (**Pradyt, 2004**).

L'intérêt majeur de cette méthode est les faibles valeurs des limites de détection. Ces valeurs de détection représentent les valeurs de concentration à partir desquelles une méthode d'analyse permet de certifier la présence d'élément dans un échantillon (**Le floch, 2004**).

Le rayonnement émis par une lampe et correspondant à la raie de résonance de l'élément à doser est envoyé sur une population d'atomes du même élément à l'état de vapeur. La mesure de l'affaiblissement de l'intensité lumineuse est dans des conditions déterminées, fonction de la concentration de l'élément à doser (**Burgot et Burgot, 2002**).

I.5.2. Etalonnage

La spectrométrie d'absorption atomique est une méthode analytique comparative, elle implique un étalonnage externe dont le résultat dépend de la représentativité des étalons par rapport aux échantillons (**Rouessac et Rouessac, 2000**).



Photo 05 : L'appareil spectrométrie d'absorption atomique de marque Aurora Instruments AL1200 (**Bendada et Boulekradech 2011**)

Chapitre II

Résultats et discussion

II.1.Résultats

Les résultats des analyses réalisées sur les échantillons de l'eau destinée à la consommation humaine dans la wilaya de Jijel sont synthétisés sous forme de tableau, représentés sous forme des histogrammes et commentées sous forme de paragraphes.

II.1.1. Concentration du Cadmium dans les eaux de consommation de la wilaya de Jijel :

Les valeurs de concentrations du cadmium dans les eaux de consommation de la wilaya de Jijel dans les quatre stations sont représentées dans le tableau 14, et sous forme graphique dans la figure 09:

Tableau 14. Teneurs en cadmium total dans les eaux des quatre stations.

	Taher	Texanna	El Agrem	Kissir
Concentration (mg/l)	0,0416	0,0045	0,0148	0,0148
	0,0549	0,0119	0,0089	0,0059
	0,0148	0,0134	0,0178	0,0074
Moyenne	0,0371	0,0099	0,0138	0,0094
Ecart type	0,0204	0,0048	0,0045	0,0048
Normes OMS (mg/l)	0.003			

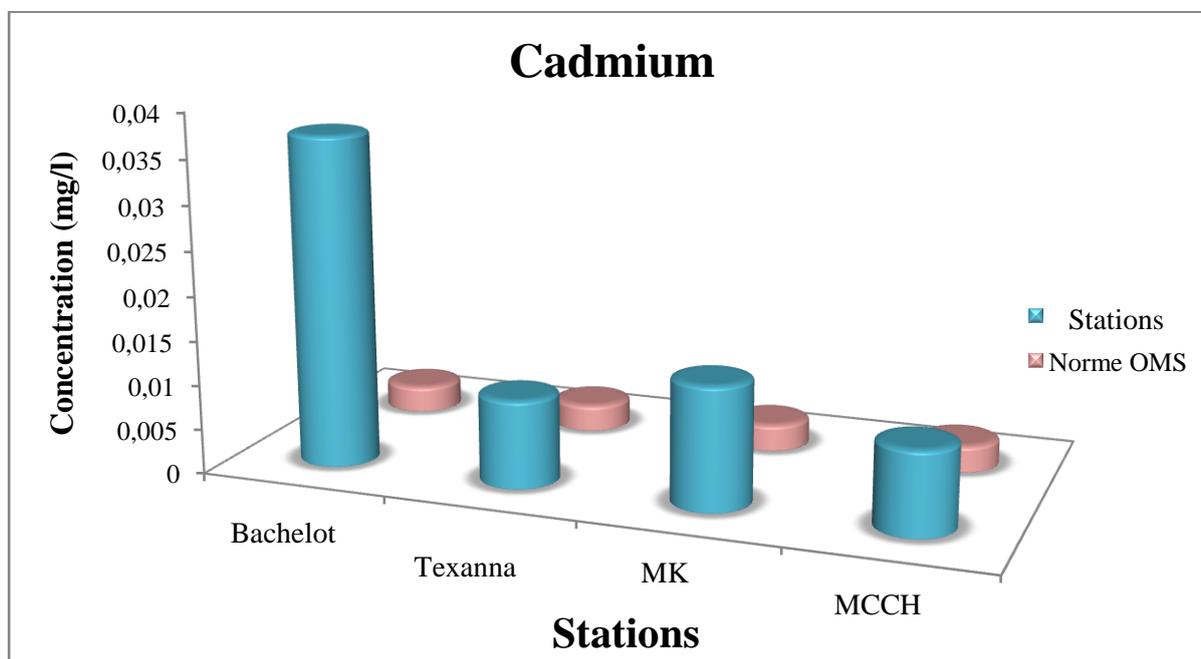


Figure 09. Teneurs en cadmium dans les eaux de consommation des quatre stations dans la wilaya de Jijel

D'après les résultats des analyses obtenus dans notre étude, nous avons constaté que les teneurs en cadmium dans les eaux de toutes les stations retenues sont très élevées, ce métal

hautement toxique est dépassé la norme préconisée par l'OMS (0.003mg/l) pour les eaux de consommation. Ce qui rend cette eau contaminée et risque d'être dangereuse.

On a constaté également que ces concentrations sont variables d'une station à l'autre (tableau 14 et figure 09). La teneur la plus basse de ce métal est observée au niveau de station de Kissir avec (0,0094mg/l), alors que la teneur la plus élevée est enregistrée au niveau station de Taher (Bachelot) avec (0,0371mg/l).

II.1.2. Concentration du Plomb dans les eaux de consommation de la wilaya de Jijel

Les valeurs de concentrations du Plomb dans les eaux de consommation de la wilaya de Jijel dans les quatre stations sont représentées dans le tableau 15, et sous forme graphique dans la figure 10.

Tableau 15. Teneurs Plomb total dans les eaux des quatre stations.

	Taher	Texanna	El Agrem	Kissir
Concentration (mg/l)	0,6679	0,8451	0,3408	0,2181
	0,5452	0,1772	0,1499	0,3408
	0,1499	0,6952	0,2999	0,736
Moyenne	0,4543	0,5725	0,2635	0,4316
Ecart type	0,2707	0,3504	0,1005	0,2706
Normes OMS (mg/l)	0.01			

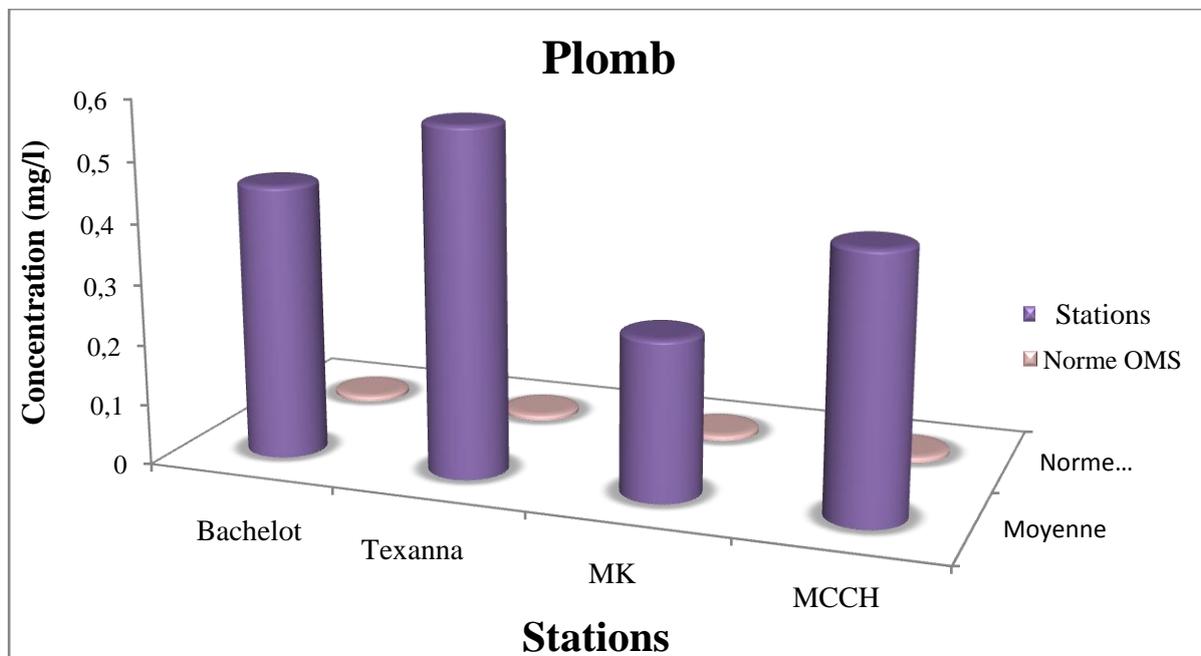


Figure 10. Teneurs en Plomb dans les eaux de consommation des quatre stations dans la wilaya de Jijel

Les concentrations en plomb varient de (0,2635 à 0,5725mg/l) (tableau15) ; elles changent d'une station à l'autre et au sein d'une même station. De façon générale, les concentrations en Pb les plus basses sont observées au niveau de la station El Agrem (0,2635mg/l). La teneur en Plomb atteint son maximum au niveau de la station de Texanna (0,5725 mg/l).

Toutes les stations montrent des teneurs élevées en ce métal qui dépassent largement la valeur admissible préconisées par l'OMS pour les eaux de consommation (0.01mg/l).

II.1.3. Concentration du Zinc dans les eaux de consommation de la wilaya de Jijel

Les valeurs de concentrations du Zinc dans les eaux de consommation de la wilaya de Jijel dans les quatre stations sont représentées dans le tableau 16, et sous forme graphique dans la figure 11.

Tableau 16. Teneurs Zinc total dans les eaux des quatre stations.

	Taher	Texanna	El Agrem	Kissir
Concentration (mg/l)	1,989	3,687	0,0539	0,7247
	1,838	0,574	0,305	0,9433
	1,919	0,0702	0,0006	0,0029
Moyenne	1,9153	1,4437	0,1198	0,5570
Ecart type	0,0756	0,1626	0,1626	0,4921
Norme OMS (mg/l)	3			

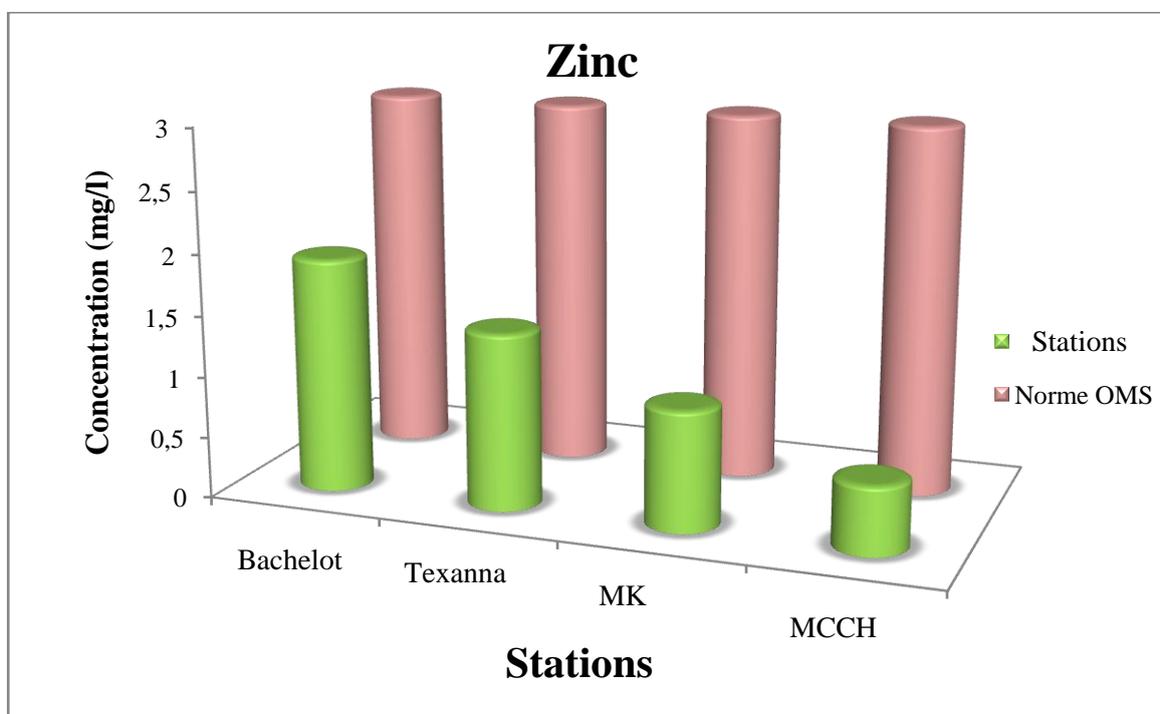


Figure 11. Teneurs en Zinc dans les eaux de consommation des quatre stations dans la wilaya de Jijel

D'après les résultats obtenus, les concentrations de Zinc sont faibles avec un maximum de (1,9153mg/l) a été enregistré dans la station de Taher, et un minimum de (0,1198mg/l) au niveau de station El Agrem. Pour aucun des échantillons analysés la limite déterminée par l'OMS à 3 mg/l n'a pas été atteinte, éliminant la moindre chance de causer une intoxication par ce métal.

II.2. Discussion

La qualité d'eau de boisson est appréciée par ses constituants microbiologiques et chimiques, dont les effets sur les organismes vivants sont bien connus (**Nicoleau, 2005**). Beaucoup d'eaux considérées aujourd'hui comme potable contiennent un certain nombre de polluants chimiques : traces de pesticides, de métaux lourds, des nitrates, des nitrites, des résidus d'hydrocarbures, des dérivés organochlorés...à cause des rejets industriels non contrôlés, l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau (**Debieche, 2002**).

En effet, la présence abondante des métaux dans l'eau des stations étudiées peut être justifiée probablement par les provinces géologiques du fond pédogéochimique, les déchets urbains et domestiques.

Par ailleurs, la localisation des sites de prélèvement au sein des champs agricoles peuvent contribuer d'une part dans l'enrichissement des eaux souterraines en métaux lourds. De même les élevages intensifs des bovins et des volailles semblent également une autre source probable de l'apport des métaux dans le sol, et par infiltration, dans les eaux (**Meeus, 1989**).

La pollution atmosphérique joue aussi un rôle capital dans les apports en métaux dont notamment le plomb due à la combustion des carburants des automobiles (**Pagotto, 1999**) mais aussi la cendre des incendies.

De plus les canalisations constituent de leur part une partie vulnérable à la pollution des eaux et une cause non négligeable de l'enrichissement des eaux en plomb, car elles sont exposées aux souillures les plus diverses, et les temps de transit sont parfois très longs (semaine ou plus) (**OMS, 1994**).

En outre, les anciennes canalisations en plomb et les soudures au plomb constituent la source principale de relargage du plomb dans l'eau de boisson.

➤ Cadmium

Ce métal dont l'importance dans le corps n'a pas encore été trouvé ce qui laisse à dire que ce métal est non essentiel.

La toxicité du cadmium se manifeste principalement par une anémie, des troubles digestifs, ainsi qu'une atteinte rénale qui engendre par la suite un désordre osseux. Une diminution de la fonction pulmonaire peut avoir lieu (**Attar, 2020**).

D'après les résultats de la présente étude, les concentrations du cadmium sont très élevées dans toutes les stations. Ceci traduit une contamination certaine et dangereuse dans les sources étudiées d'eau potable dans la wilaya de Jijel, dont les teneurs dépassent de loin tant les normes préconisées par l'OMS (0.003 mg/l).

On constate une augmentation significative de la teneur en cadmium dans la station Taher ; Cette teneur élevée peut être entraînée par la combustion de l'incinération des ordures ménagères. Aussi la présence du Cd comme contaminant dans les engrais utilisés en agriculture peut contribuer à cette pollution.

L'étude de (**Lindomar et al, 2007**) montrent des concentrations comprises entre 0.03 et 0.05 mg/l. Des concentrations fortement élevées à ceux de la présente étude ont été recordées au Rio Rimao en Peru en 1989 avec un maximum de 0.1 mg/l. Alors que la concentration médiane du cadmium dans l'eau de consommation humaine mesurées dans 110 sites différents dans le monde est inférieure à 0.001 mg/l (**WHO/UNEP, 1989**).

(**Derwich et al., 2007**) montrent une valeur maximale de 0.0000007 mg/l du cadmium dans l'eau potable en Maroc. Cette concentration est inférieure à nos résultats et aux normes d'eau potable internationalement reconnues.

➤ **Plomb**

Le plomb (Pb) est un élément nuisible entraînant des dommages cognitifs irréversibles et des pertes de quotient intellectuel à faible dose chez les jeunes enfants. Avec la diminution de l'exposition au plomb par d'autres sources (essence, alimentation), l'eau potable est devenue une des plus importantes sources restantes d'exposition au plomb (**cartier, 2012**). Les sources de pollution par le plomb sont bien sûr pour une part d'origine anthropique mais aussi d'origine naturelle et donc pas toujours contrôlables (**Ciutat, 2003**).

Nos résultats révèlent des concentrations très alarmantes en plomb qui dépassent fortement les normes recommandées par l'OMS et celles algériennes (0.01 mg/l).

Les résultats obtenus montrent que toutes les sources qui ont servi d'échantillon sont contaminés par ce métal qui se caractérise par sa forte accumulation dans le corps qui peut atteindre une demi vie de 20 ans lorsqu'il atteint l'os causant en passage, une néphrotoxicité, encéphalopathie, troubles digestifs, et l'anémie qui fait partie des premiers symptômes.

Vue les informations recueillies de la littérature scientifique sur l'origine de plomb, notre principale hypothèse pour expliquer ces concentrations, suggère la contribution à la fois des origines anthropiques et naturelles dans l'enrichissement important en plomb dans nos échantillons de l'eau potable.

La quantité de plomb qui peut se dissoudre dans l'eau dépend de l'acidité (pH), de la température, de la dureté de l'eau et du temps pendant lequel l'eau repose dans les tuyaux.

L'étude réalisée par (**Ul-Haq *et al.*, 2011**) en Pakistan sur les teneurs de plomb dans les eaux de robinet dans la ville de krachi a révélé que la concentration moyenne en plomb atteint 0.077mg/l, cette valeur est inférieure à nos résultats.

Autre étude de (**Sandeep *et al.*, 2011**) en Inde a révélé aussi des concentrations en plomb dans l'eau potable de la région de Garhwal dans l'Inde dépasse 9 fois la norme de l'OMS (0.01mg/L) par un ordre de 0.090 mg/L.

Enfin, l'évaluation globale des présents résultats mis en évidence un profil de concentration très élevé de plomb dans toutes les stations. Ceci traduit une contamination certaine et dangereuse de des eaux potables de la ville de Jijel, dont les teneurs dépassent les normes préconisées par l'OMS et les normes algérienne, et justifier par conséquent la nécessité de la préservation et de la mise en place de moyens de lutte contre cette pollution.

➤ **Zinc**

Le Zinc est l'un des oligo-éléments les plus abondants du corps humain. Ayant une importance fondamentale pour beaucoup de molécules, de processus cellulaires, métaboliques et immunologiques, y compris les réponses antioxydants. La carence en zinc a été associée à un grand nombre de déficit de l'organisme.

Le zinc est essentiel pour le corps humain, la présence de ce métal dans l'eau potable ne cause pas un problème.

L'intoxication par le zinc est à l'origine de la fièvre du fondeur, ainsi que d'autres symptômes tel que : les désordres respiratoires, gastro-intestinaux, et aussi une anémie (**Attar, 2020**).

L'étude réalisée par (**Derwich *et al.*, 2007**) en Maroc sur les teneurs de Zinc dans les eaux souterraine d'Oued Fès et Sebou a révélé que la concentration moyenne en Zinc atteint 0.14 mg/l, cette valeur n'ont pas atteint ou dépassé nos résultats, mais cela n'est pas un problème vu que ce métal est considéré comme oligo-élément dans le corps en raison de leur importance dans le les mécanismes biologiques et ne dépasse pas la norme de l'OMS qui a limité la norme du zinc à 3 mg/l.

Les teneurs enregistrées sont dues aux activités humaines : industrielles (alliages fabrication de pigments de teinture et de pesticides) et aussi des polluants qui proviennent de la décharge de la ville.

L'eau est la plus répandue sur terre. C'est un élément indispensable à toute forme de vie.

L'eau de consommation est une eau qui est apte à être consommée par l'être humain, cette dernière peut contenir des substances polluantes, c'est pourquoi, elle a besoin d'être protégée, traitée et économisée.

La contamination de l'eau par les métaux lourds est une question mondiale urgente qui pose un sérieux problème environnemental en raison des risques qu'ils peuvent présenter pour la santé humaine et des dangers liés à leur rémanence dans les écosystèmes aquatiques.

L'objectif défini, lors de la mise en place de cette étude était d'évaluer l'état de contamination par le **Plomb**, le **Cadmium** et le **Zinc** des eaux potables des quatre stations (Texanna, Taher, barrage de Kissir, et barrage d'El Agrem), servant à l'alimentation des citoyens de la wilaya de Jijel.

La présente étude a permis de mettre au point la présence des concentrations très élevées en plomb et en cadmium qui dépasse de loin les normes requises, ces dépassements majeurs des critères de qualité des eaux potables peuvent avoir des origines naturelles et anthropiques, avec une concentration de Zinc correspondant aux normes d'OMS.

La projection des concentrations des métaux trouvés dans l'eau permet de relier les sources de pollution de la région du Jijel. Afin de protéger la région de la pollution par les métaux lourds tel que le Zn, Cd, Pb on recommande :

- Placer des stations de traitement des eaux usées, industriels et les eaux pluviales issues du bassin urbain et du trafic routier afin de contrôler l'évolution de la pollution.
- Contrôler les décharges publiques.
- Installer des stations de surveillance.
- D'établir et respecter des normes nationales de la qualité des eaux de surface.
- De réaliser des analyses périodiques sur les métaux lourds pendant toutes les étapes de production de l'eau potable.

Références bibliographiques

A

Adriano, D.C, 2001. Trace elements in terrestrial environments: Biochemistry, bioavailability and risks of metals. Springer-Verlag, New York.

ANBT (Agence Nationale Des Barrages et Transferts), 2001. Barrage El Agrem, Monographie, Vol I.

Andujar, P., Bensefa, C. L., Descatha, A, 2010. Acute and chronic cadmium poisoning. La Revue De Médecine Interne, Elsevier, 31 (2), 107-15p.

Angell, N.F., Lavery, J.P, 1982. The relationship of blood lead levels to obstetric outcome. Am. J. Obstet. Gynecol, 142: 40p.

ANRH (Agences Nationale des Ressources Hydriques), 2016.

Aranguren, M.M.S, 2008. Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers. Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique. These de doctorat (Sciences de la Terre et Environnement) Université Toulouse III - Paul Sabatier 21p.

Arouya, K, 2011. Pollution des eaux : impact des eaux usées sur la qualité des eaux de surface, éditions universitaires européennes, Allemagne, 25 p.

Attar, T, 2020. A mini-review on importance and role of trace elements in the human organism. *Chem Rev Lett*,. <https://doi.org/10.22034/CRL.2020.229025.1058>, 117-130p.

Augier, H, 2008. Le livre noire de l'environnement, édition Alphée-Jean-Paul Bertrand, Monaco, 21p.

B

Baize, D, 1997. Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). Références et stratégies d'interprétation. INRA Éditions, Paris. 401-410 p.

Behanzin, G.J., Adjou, E.S., Dahouenon Ahoussi, E., Sezan, A, 2014. Effet des sels de métaux lourds (chlorure de Cobalt et chlorure de Mercure) sur l'activité des hépatocytes. *Journal of Applied Biosciences* 83 :7499-7505.

Belabad, B.E, 2010. La pollution par les métaux lourds dans la région d'Annaba « Sources de contamination des écosystèmes aquatiques ». Thèse doctorat (science de la Mer) Université Badji Mokhtar-Annaba, Laboratoire d'Eco-biologie des Milieux Marins et Littoraux. 16-17p.

- Beliefert, C., Perraud, R, 2009.** Chimie de l'environnement : air, eau, sol, déchets, 2ème édition, Paris, 317p.
- Bendada, K., Boulakradeche, M.W, 2011.** 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. Mémoire : Université Houari Boumediene, 73 p.
- Berrah, K, 2010.** Analyse économétrique des coûts d'alimentation en eau potable : Cas de la ville de Bejaia .Mémoire de Magister en Sciences Economiques. Université Abderrahmane.Mira.Bejaia, 137p.
- Berkane S., 2011.** Contribution à l'étude hydrogéologique et hydro chimique de la plaine alluviale.
- Bernard, J, 1989.** Mémento de technique de l'eau, Tom1, Edition du cinquantaires, Paris, 68p.
- Berne, F., Cordonnier, J, 1991.** Traitement des eaux, édition Technip, Paris, ISBN, 69p.
- Bliefert, C., et Perraud,R, 2004.**Chimie de l'environnement air, eau, sol. Ed de Boeck Université, Bruxelles, 477p.
- Bliefert,C., et Perraud, R, 2007.** Chimie de l'environnement : air, eau, sols, déchets. De Boeck Supérieur, 478p.
- Bliefert, C., Perraud R, 2001.** Chimie de l'environnement : air, Eau, Sols, Dechets.Edition : de boeck université Paris, 386p
- Boeglin, J.C, 2000.** Contrôle des eaux douces et de consommation humaine, Edition France. 3-4-5p.
- Boglin, J.C, 2001.**Propriétés des eaux naturelles. Dossier N° G1110.Environment Technologies de l'eau. Technique de l'ingénieur.
- Brokaert, J.A.C, 2005.**AnalyticalAtomicSpectrometrywithFlames and Plasmas. 2ième édition.Revue et augmentée. WILEY-VCH Verlag GmbH &Co. KGaA, Weinheim (Federal Republic of Germany), ISBN: 978-3-527-31282-5. 414p.
- Burgot, G., Burgot, J.L, 2002.** Méthodes instrumentales d'analyse chimique et application. Méthodes chromatographiques, électrophorèse et méthodes spectrales tec & doc, 306p.
- Burnol, A., Duro, L. M., Grive, M., 2006.** Recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les eaux souterraines. Rapport final. BRGM /RP-52910-FR, 73p.

C

- Cartier, C., 2012.** Identification et traitements des principales sources de plomb en eau potable. Département des génies civil. Géologique et des mines. Thèse de doctorat. École polytechnique de Montréal. Université de Montréal. Canada. 254p.
- Casas, S, 2005.** Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus Galloprovincialis* en milieu méditerranéen, Thèse de doctorat, univ du Sud Toulon var, 364p.
- Cazaban, M., Duffour, J., Fabbro, P, 2005.** Santé publique, 5ème édition, p 242.
- CERTU (Centre d'Etude sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme), 2004.** Comparaison de méthodes d'analyse des éléments traces métalliques (ETM) et des hydrocarbures aromatique polycycliques (HAP) sur les sols et les végétaux. Disponible sur <http://www.certu.fr>.
- Chaignon, V, 2001.** Biodisponibilité du cuivre dans la rhizosphère de différentes plantes cultivées Cas de sols viticoles contaminés par fongicides. Thèse de Doctorat Géosciences de l'environnement, Université d'Aix- Marseille III, France, 183p.
- Chassard, B.C, 1995.** L'écotoxicologie. Que sais-je?Paris: PUF. 128p.
- Chiffolleau, J.F., 2001.** La contamination métallique. 40p.
- Chouteau, C, 2004.** Développement d'un biocapteur conductimétriquebi-enzymatique à cellules algales. Chimie, Procédés, Environnement. N° d'ordre : 04- ISAL-0066, 179 p.
- Ciutat, A, 2003.** Impact de la bioturbation des sédiments sur les transferts et la biodisponibilité des métaux : Approches expérimentales. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux I. 437: 25-32.
- Colin, A, 2007.**Dictionnaire de l'environnement, Paris, 403p.
- Colinet, G, 2003.** Eléments traces métalliques dans les sols, contribution à la connaissance des déterminants de leurs distribution spatiale en région limoneuse Belge. Thèse de doctorat; spécialité environnement; Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux, Communauté Française de Belgique, 415p.
- Collin, J. J, 2004.** Les eaux souterraines, Connaissance et gestion, France, Edition BRGM, p 56.
- Cosandey, C., Bigot, S., Dacharry, M., Gille, E., Laganier, R., Salvador, P.G, 2003.** Les eaux courantes. Paris: BELIN, 292p.
- Cossa, D., Elbaz – Poulichet, F., GnassiaBarrelli, M., Roméo, M , 1993.** Le plomb en milieu marin, biogéochimie et écotoxicologie. Edition Efremer, Brest, France (3), 76p.
- Cotton, F.A., Wilkinson, G, 1972.** Zinc, cadmium and mercury.Dans: Advanced inorganicchemistry, 3e édition, IntersciencePublishers, 503p.
- Coulibaly K., 2005.** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits decertains quartiers du district de bamako, Thèse de doctorat, Univ de Bamako, 69p.

D

- Dajos, R, 1996.** Précise d'écologie, Edition Dunod, Paris, 551 p
- Dange, C, 2002.** Etude du comportement des éléments traces en milieu estuarien : Approche expérimentale et modélisation, Thèse de doct, Univ de Reims Champagne Ardenne, 423 p.
- Davidson, C.I., Santhanam, S. Fortmann, R.C., Marvin, P.O, 1985.** Atmospheric transport and deposition of trace elements onto the Greenland ice sheet, Atmos Environ, 2065-2081 p.
- Debieche, T.H, 2002.** Evolution de la qualité des eaux (salinité. azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle : Application à la basse plaine de la Seybouse-Nord-est Algérien. Thèse de doctorat en hydrogéologie et l'environnement, Univ de Franche-Comté, France, 235 p.
- Degrémont, S.A, 2005.** Mémento technique de l'eau. 1718 p.
- Deneux-Mustin , S., Roussel-Debet, S., Mustin, C., Henner ,P., Munier-Lamy, C., Colle, C., Berthelin ,J., Garnier-Laplace ,J., Leyval, C, 2003.** Mobilité et transfert racinaire des éléments en traces: influence des micro-organismes du sol. Paris, Editions Tec & Doc Lavoisier, 280 p.
- DEP (Direction d'Equipe ment Publique), 2017.** Direction d'Equipe ment Publique, Fiche de synthèse de la Wilaya de Jijel, Les indicateurs sociaux économiques.
- Derwich, E., Benziane, Z., Benaabidate, L, 2007.** Etude de la qualité métallique des eaux souterraines situées au voisinage des eaux usées dans le bassin versant du moyen sebou, Maroc. Revue semestrielle Scientifique et technique, Le Journal de l'Eau et de l'Environnement, 79 p.
- Deschamps, T., Benzaazoua, M., Bussière, B., Belem, T., Mbonimpa, M, 2006.** Mécanismes de rétention des métaux lourds en phase solide : cas de stabilisation des sols contaminés et des déchets industriels. Vertigo la revue de science de l'environnement, 1- 10 p.
- Devez, A, 2004.** Caractéristique des risques induits par les activités agricoles sur les écosystèmes aquatiques. Thèse de doctorat, école nationale du génie virale des eaux et des forêts, 15-20 p.
- DGS, 2005.** La qualité de l'eau potable en France : Aspects sanitaires et réglementaires.
- Djabri, L, 1996.** Mécanismes de la pollution t vulnérabilité des eaux de la Seybouse, origine géologiques, industrielles, agricoles et urbaines. Thèse de doctorat d'état, université d'Annaba, Algérie.
- Djamaa, W., Bouzit, A, 2018 .** Etude du comportement hydrologique du barrage de KISSIR, Mémoire de Master, Université de Jijel.
- Duffus, J.H, 2002.** Heavy metals a meaningless term? Pure. *App. Chem*, 793-807 p.

F

Festy, B., Tricard, D, 1989. Environnement, l'eau. In qualité de l'eau, Gérin M., Gosselin P., Cordier S., Viau C., Quénel P., Dewailly E. rédacteurs. Edisem/ TEC et DOC, Paris. 595-611p.

Fishbein, L, 1981. Sources, transports and alterations of metal compounds. An overview, I. arsenic, beryllium, cadmium, chromium and nickel.

Franklin, R.E., Duis, L., Brown, R., Kemp, T, 2005. Trace element content of selected fertilizers and micronutrient source materials. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 36p.

G

Genin, B., Chauvin, C.H., Ménard, F, 2003. Cours d'eau et indices biologique. Paris ,Educagri, 216p.

Gérin, M., Gosselin, P., Cordier, S., Viau ,C., Quénel, P., Dewailly, E, 2003. qualité de l'eau. Rédacteurs, Edisem/Tec et Doc, ministère de la santé, Paris, 32p.

Ghodbane, I., Nouri, L., Hamdaoui, O., Chiha, M, 2008. Kinetic and equilibrium study for the sorption of cadmium(II) ions from aqueous phase by eucalyptus bark, Journal of Hazardous Materials 152 ,148–158

Gilli, E., Mangan, C., Mudry, J, 2004. Hydrogéologie. Objets, méthodes, applications, édition Dunod, ISBN, Paris, 12-87p.

Gleick, P.H, 1996. Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed, by S.H. Schneider, Oxford University press, New York, vol. 2, 817-823p.

Grimes, S, 2004. Le tourisme environnemental et l'aménagement urbain du littoral .Cas de la ville de Jijel, Mémoire de Magistère en urbanisme, univ de Mentouri-Constantine, 192p.

Grosclaude, G, 1999. L'eau tome II usages et polluants. Paris : INRA, 210p.

Guemaz, F, 2006. Analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux usées des trois sites de la ville de Biskra (ChaabatRooba, Oued Biskra, et Oued Zmour).

H

- Hahne, H. C. H., Kroontje, W, 1973.** Significance of pH and Chloride Concentration on Behavior of Heavy Metal Pollutants. Mercury (II), Cadmium (II), Zinc (II), and Lead (II) 1, Journal of Environment Quality, 444-253p.
- Hodson, M.E, 2004.** Heavy metals - geochemical bogey men? *Environ Pollut*, 341-343p.
- Hoffmann, F., Auly, T., Meyer, A. M, 2014.** L'eau. Edition, Confluence, 43p.
- Hopkin, S.P, 1989.** Eco-physiology of metals in terrestrial invertebrates. Elsevier, Applied science, NY, USA, 366p.

I

- ISO, 2003.** Qualité de l'eau : échantillonnage. partie 3 : Lignes directrices pour la conservation et la manipulation des échantillons d'eau, suisse, ISO5657-3.

J

- JORA, 2011.** Journal officiel de la république algérienne. N°18. P7-9.

K

- Kabata, A., Pendias, H, 2001.** Trace elements in soils and plants. CRC Press, London.
- Kaiser, J, 2001.** Bioindicators and Biomarkers of Environmental Pollution and Risk Assessment (Enfield: Sciences publishersinc).

L

- Le floch, M, 2004.** Caractérisation physicochimique et traçage des émissions particulières métalliques s'une usine d'incinération d'ordures ménagées dans l'air ambiant, exemple de l'UIOM de Toulon (Var, France). Thèse de doctorat, Université de Droit, d'économie et des sciences d'Aix- Marseille (Aix Marseille III).
- Lefort, M, 2003.** Les constituants chimiques de la matière. Description des éléments, Paris, 108-214 p.
- Lenntech, 2006.** Normes de l'OMS sur l'eau potable.
- Lenntech, 2007a.** Zinc (Zn). Propriétés chimiques-Effets du plomb sur la santé- Effets du plomb sur l'environnement, <http://www.lenntech.com/français/data-perio/Zn.htm>.
- Lenntech, 2007b.** Cadmium (Cd). Propriétés chimiques-Effets du plomb sur la santé- Effets du plomb sur l'environnement, <http://www.lenntech.com/français/data-perio/Cd.htm>.

Lenntech, 2007c. Plomb (Pb). Propriétés chimiques-Effets du plomb sur la santé-Effets du plomb sur l'environnement, <http://www.lenntech.com/français/data-perio/Pb.htm>.

Lindomar, P. L. A., Ferreira, H. S., dos Santos, W. N. L., Sergio, L. C, 2007. Simultaneous preconcentration procedure for the determination of cadmium and lead in drinking water employing sequential multi element flame atomic absorption spectrometry.vol 87, 77p.

Loganathan, P., Hedley, M.J., Grace, N.D, 2008. Pasture soilscontaminatedwithfertilizer-derived cadmium and fluorine. Livestock effects, *Rev Environ Contam Toxicol*, 29-66p.

Loué, A, 1993. Oligoéléments en agriculture. Ed. Nathan, 45-177p.

M

Maiga, S. A, 2005. Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako. Evaluation saisonnière, Thèse de doctorat en Pharmacie, Bamako, 77p.

Mayer, T., Rochfort, Q., Borgmann, U., Snodgrass, W, 2008. Geochemistry and toxicity of sediment porewater in a salt-impacted urban stormwater detention pond. *Environmental Pollution* , 143-151p.

Meeus, V.K., Scokart, P.O., Deborger, R, 1989. *Revue de l'agriculture*. 801-816p.

Miles, C.D., Brandle, J.R., Daniel, D.J., Chuder, O., Schanare, P.D., Uklik, D.J, 1972. Inhibition of photosystem II in isolated chloroplasts by leadplants. *Plant. Physio*, 820p.

Miquel, G, 2001. Rapport sur les Effets des Métaux Lourds sur l'Environnement et la Santé. Assemblée Nationale Française, N°2979, Paris, 366p.

Mir, S, 2016. Etude de contamination du Plomb et du Zinc dans les céréales cultivées (blé dur) dans la région de Sebdou (Tlemcen), Mémoire de Master, Université de Tlemcen

Mitchell, D. J., Wild, S. R., Jones, K. C, 1992. Arrested municipal solid waste incinerator fly ash as a source of heavy metals to the UK environment. *Environmental Pollution*, 79–84p.

Moore, M.R., Meredith, P.A., Watson, W.S., Sumner, D.J., Taylor, M.K., Goldberg, A,1980. The percutaneous absorption of lead-203 in humans from cosmetic preparations containing lead acetate as assessed by whole-body counting and other techniques. *FoodCosmet. Toxicol*, 399p.

Moulin, J, 2012. L'eau. Saint Denis Cedex, France, 54p.

N

Nadjiba, T., Aya, S., Rachid, R , 2018. Evaluation of Hepatotoxicity, Nickel on an Indicator Model of Pollution (*Oryctolagus cuniculus*). *Advances in Science, Technology & Innovation*, 567–569p.

National Academy of Sciences (NAS), 1997. Committee on Medical and Biological Effects of Environmental Pollutants. *Platinum-group Metals* (Washington, DC).

Nicoleau, R, 2005. Caractérisation et quantification des transferts dus aux petites rivières côtières méditerranéennes. Thèse de doctorat, université de Toulouse. 218p.

O

OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques), 1994. Cadmium. Risk Reduction Monograph, No : 5, Paris.

Omar, Y, 2015. Bioaccumulation de quelques métaux lourds (Pb, Zn et Cu) d'origine routière au moyen d'une mousse (*Brylum Argenteum Hedw*) dans la ville de Tiaret (Algérie). Classes de pollution et cartographie, Thèse doctorat (sciences de l'environnement) Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbes, Faculté des Sciences de la Nature de la Vie. 121p.

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 1994. Directive de qualité pour l'eau de boisson. vol 1, recommandations, 2e éd, Genève, 202p.

OMS, 1972. Directives de qualité pour l'eau de boisson. Organisation Mondiale de la Santé, Genève.

ONM, 2016. Office National de la Météorologie. Station d'Achouat, Wilaya de Jijel.

ONM, 2017. Office National de Météorologie. Station d'Achouat, Wilaya de Jijel.

P

Paalman, M.A.A., Weijden, C.H., Loch, J.P.G, 1994. Sorption of cadmium on suspended matter under estuarine conditions competition and complexation with major sea-water ions. *Water, Air, & Soil Pollution*, 49-60p.

Pagotto, G ,1999. Etude sur l'émission et le transfert dans les eaux et les roches des éléments traces métalliques et des hydrocarbures en domaine routier. Thèse de doctorat, univ de Poitiers. Nantes. 316p.

Park, J.H., Lamb, D., Paneerselvam, P., Choppala, G., Nanthi Bolan, N., Chung, J.W, 2011. Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal(loid) contaminated soils. *J. Hazard. Mater*, 549-574p.

Pearson, R. G, 1963. Hard and Soft Acids and Bases. Journal of the American Chemical Society, 85(22), 3533–3539p.

Popescu, M., Blanchard, J., Carré, J, 1998. Analyse et traitement physicochimique des rejets atmosphériques industriels :(émissions, fumées, odeurs et poussières). Tec & doc. 854p.

Pradyt, P, 2004. Dean's Analytical Chemistry Handbook (McGraw-Hill Hand books). Secondedition.ISBN: 0071410600, 1114p.

R

Ramade, F, 1992. Précis d'écotoxicologie. Paris.

Ramade, F, 2000. Dictionnaire encyclopédique des pollutions.Les polluants de l'environnement à l'homme, Ediscience international, Paris, 50-186p.

Robert, M, 1996. Le sol.Interface dans l'environnement, ressources pour le développement, éd. Masson, Paris.

Rodier, J, 2009. L'analyse de l'eau.Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 9e édition, Dunod, Paris, 1383p.

Rodier, J., Bazin, C., Boutin, J.P., Chanbon, P., Rodi, L, 1996. L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8 ème édition, DUNOD. Paris.

Rodier, J, 1997. L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer, 8eme édition, Dunod, Paris.

Rodier, J, 2005.L'analyse de l'eau.Eaux naturelle et des eaux résiduaires, et eaux de mers,8ieme édition, Dunod., Paris.1824p

Rodriguez Garcia, A, 2004. Etude de la congélation comme technique de traitement des eaux. Applications spécifiques, Thèse Doctorat.

Rouessac F., Rouessac, A, 2000. Analyse chimique , méthodes et techniques instrumentales modernes. 5ième édition, Dunob, Paris. 133p.

Roulier, J.L., Percherancier, H, 2003. Comportements des métaux lourds durant la remise en suspension des sédiments et après rediposition. In qualité et gestion des sédiments d'eau douce éléments physicochimiques et biologiques, Edition Gémagref, 151- 193p.

S

Salamon, S.W., Frostener U., Maderb, P, 1995. Heavy metals: problems and solution.Edition. Brelnegermany Springer 1 verlage.

Salomons, W., Forstner, U, 1988.Metals in hydrocycle, Springer-Verlage, NewYork, Chap.5

Sandeep, G., Nutan, S., Sandeep, S., 2011. Status of lead present in ground drinking water samples of Uttarakhand (Garhwal Region) in India. *Asian Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences*.1:32-38.

Sasseville, J.L, 1980.La problématique des substances toxiques dans l'environnement. Tom1 : l'agression toxique. Bureau sur les substances toxiques. Ministère de l'environnement. Québec. 46p.

Savary, P, 2003. Guide des analyses de la qualité de l'eau. Dossier d'expert, Editions Techni. Cités, 87-194p

Schuhmacher, M.,Granero , S., Bellés, M. , Llobet , J. M., Domingo, J.L, 1996. Levels of metals in soils and vegetation in the vicinity of a municipalsolid waste incinerator, *Toxicological & Environmental Chemistry*, 56:1-4, 119-132.

Sezgin, N., Ozcan, H.K., Demir, G., Nemlioglu, S., Bayat, C, 2004.Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway. *Environ Int*, 29(7), 979-985.

Sirven, J.B, 2006. Détection de métaux lourds dans les sols par spectroscopie d'émission sur plasma induit par laser (LIBS), Spécialité : laser et matiere dense, Ecole doctorale de sciences physiques et de l'ingénieur, l'université bordeaux 1, 40p.

Spellman., Frank, R., 2008 - The Science of water : concepts and applications. 2nd Ed. CRC Press Taylor & Francis Group. USA. 417 p.

T

Tonneau, J, 2003. D'un bout à l'autre de la chaîne. Printemps des sciences. 10p.

U

Ul-Haq, N., Arain, M., Badar, N., Rasheed, M., Haque, Z, 2011. Drinking water: a major source of lead exposure in Karachi, Pakistan. *EasternMediterraneanHealth Journal*. 17: 11.

V

Valentin, N, 2000. Construction d'un capteur logiciel pour le contrôle automatique du procédé de coagulation en traitement d'eau potable Thèse Doctorat.

Veeresh, H., Tripathy, S., Chaudhuri, D., Hart, B. R., Powell, M.A, 2003. Sorption and distribution of adsorbed metals in three soils of India. *AppliedGeochemistry*, 18(11), 1723–1731.

Viala, A., Botta, A, 2005.Toxicologie,Paris : Éd. Tec & Doc Lavoisier ; Cachan : Éd. médicales internationales.

W

Waalkes, M.P, 2000. Cadmium carcinogenesis in review. J. Inorg. Biochem, 79: 241-244.

Weber, W.J., Van Vliet, B.M, 1981. Synthetic adsorbents and activated carbons for water treatment: overview and experimental comparisons. Journal-American Water Works Association. vol. 73, no 8, p. 420-426.

WHO/UNEP, 1989. GEMS — Global fresh water quality, Published on behalf of the World Health Organization/United Nations Environment Programme, Oxford, Blackwell Reference, 104p.

Z

Zella, L, 2007.L'eau pénurie ou incurie. Alger : Office des publications universitaires, 144p.

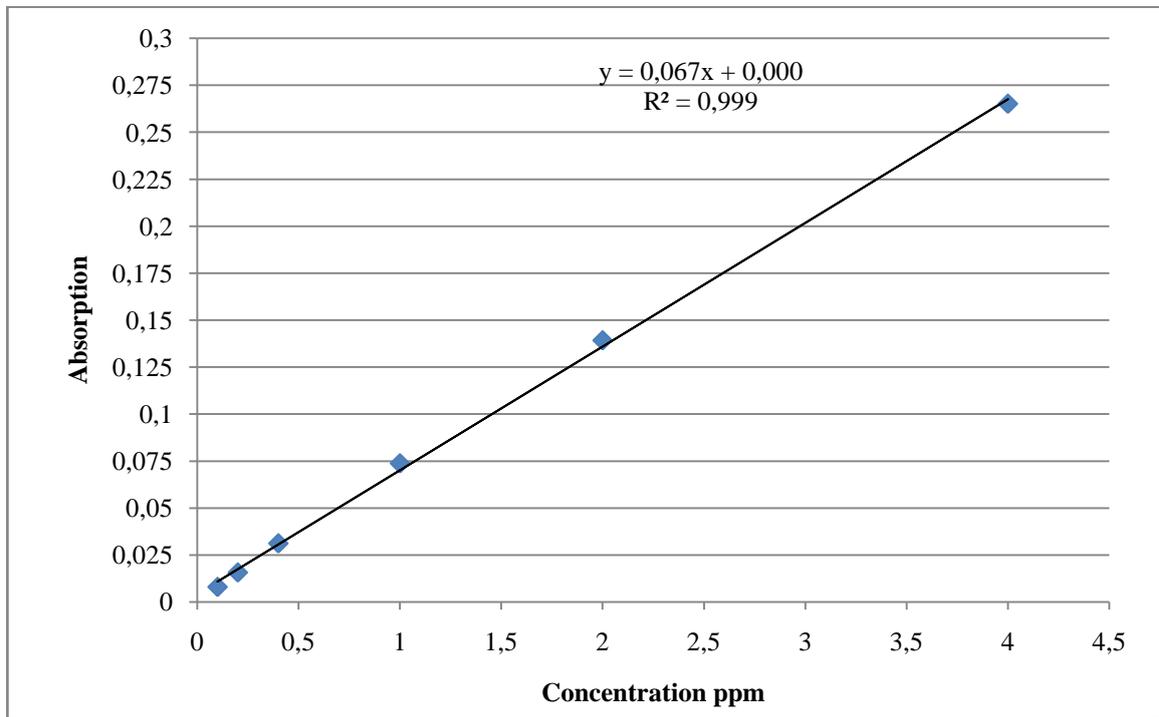
Zmirou, D., Bard, D., Dab, W., Dor, F., Goldberg, M et al, 2000.Quels risques pour notre santé? Edition Suros, 335p.

Zorrig, W, 2011. Recherche et caractérisation de déterminants contrôlant l'accumulation de cadmium chez la laitue "Lactuca sativa".Thèse de Doctorat (Sciences Biologiques) Université Tunis El Manar.Faculté des Sciences de Tunis, 16-24p.

Annexes

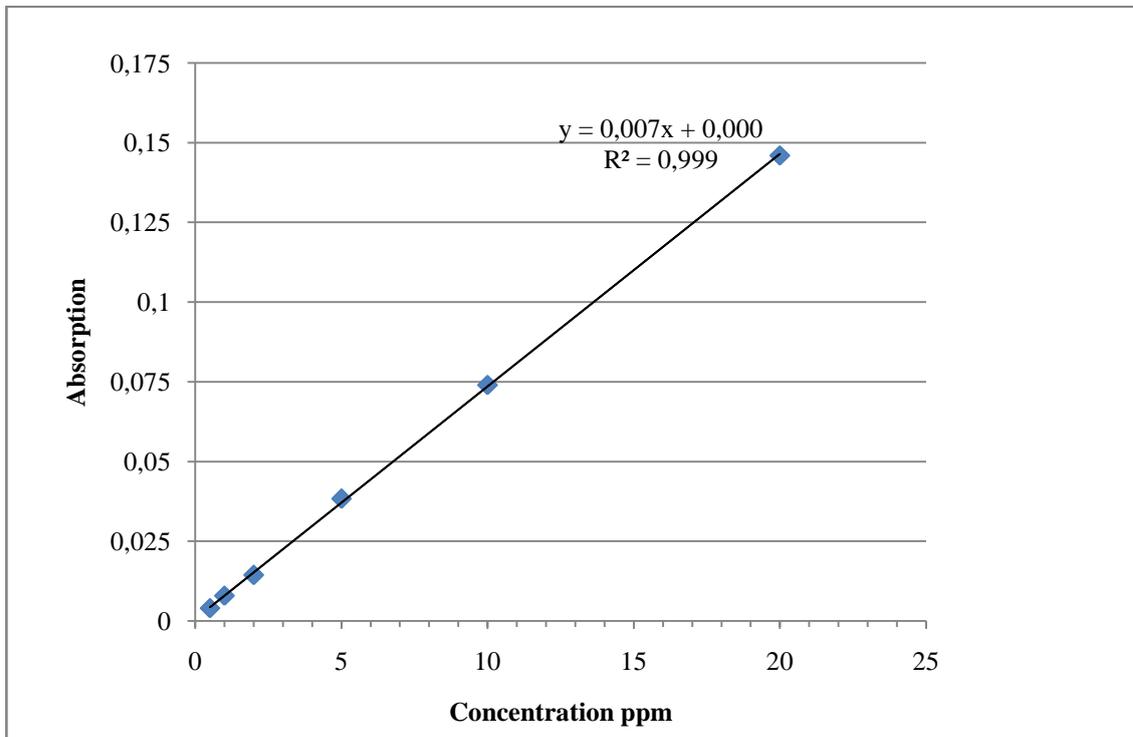
Annexe I

➤ Courbe d'étalonnage de cadmium



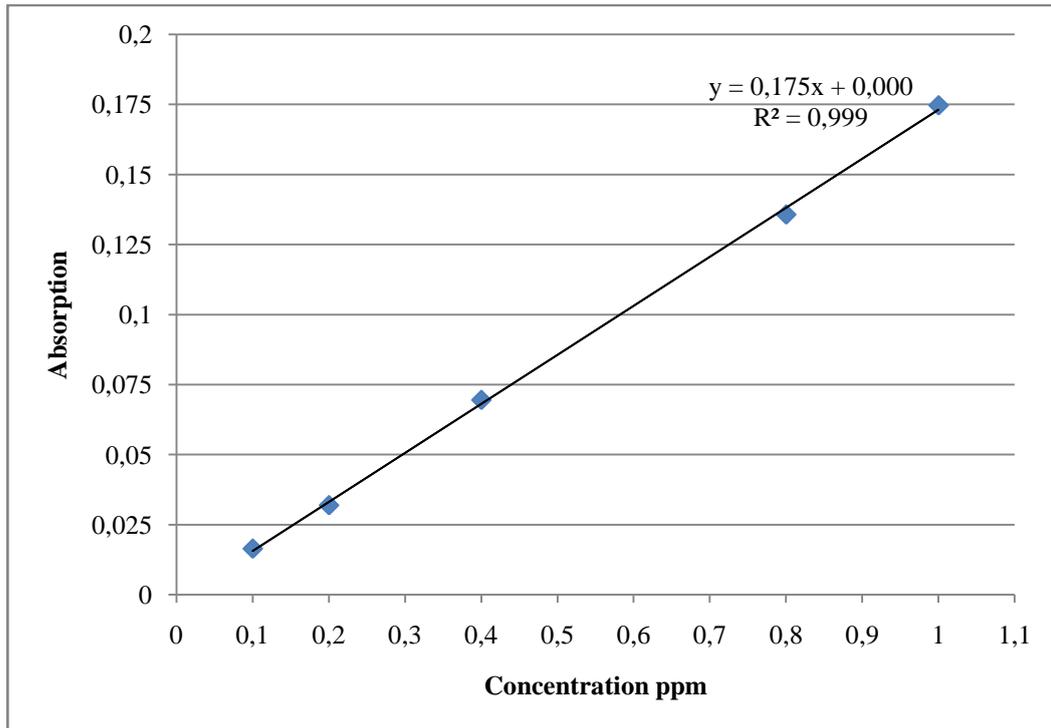
Annexe II

➤ Courbe d'étalonnage de plomb



Annexe III

➤ Courbe d'étalonnage de zinc



Présenté par : Boumelta Zineb
Boubakeur Hasna
Bouali Yasmina

Encadreur : M^{me} Chebab Samira

Date de soutenance : 16 Septembre 2021

Thème

Evaluation de la contamination métallique de certaines sources d'eau potable dans la wilaya de Jijel

Résumé

L'eau représente la substance la plus recherchée pour l'épanouissement des civilisations, la pollution par les métaux lourds constitue le fléau de l'eau pure dans la nature.

Dans le but d'évaluer la qualité des eaux potables et la concentration des métaux lourds (Zn, Pb et Cd) dans l'eau au niveau de la wilaya de Jijel, 3 échantillons de la source de Texanna, 3 échantillons de source de Bachelot, 3 échantillons de l'eau de robinet des maisons alimentées par le barrage de Kissir et 3 échantillons de robinet des maisons alimentées par le barrage d'El Agrem ont été analysés, nous avons réalisé un dosage des métaux lourds par spectrométrie d'absorption atomique.

Les résultats des analyses effectuées ont montré des teneurs très élevées en Cd et Pb qui dépassent fortement les normes d'OMS et les normes algériennes, tandis que les concentrations de Zinc sont faibles. La présence abondante des métaux lourds dans l'eau des stations étudiées peut être justifiée probablement par les provinces géologiques du fond pédogéochimique, les déchets urbains et domestiques, ainsi que par la localisation de certains sites de prélèvement au sein des champs agricoles.

La forte présence des métaux lourds dans les eaux potables peut constituer une vraie menace pour la santé des consommateurs de ces eaux et exige la nécessité de rechercher des moyens de décontamination.

Mots-clés : eau potable, cadmium, plomb, zinc, contamination, Kissir, El Agrem, Bachelot, Texanna

Abstract

Water is the most sought-after substance for the flourishing of civilizations; heavy metal pollution is the scourge of pure water in nature.

In order to assess the quality of drinking water and the concentration of heavy metals (Zn, Pb and Cd) in the water in the wilaya of Jijel, 3 samples from the source of Texanna, 3 samples from the source of Bachelot, 3 tap water samples from the houses supplied by the Kissir dam and 3 tap samples from the houses supplied by the El Agrem dam were analyzed, we carried out an assay for heavy metals by atomic absorption spectrometry.

The results of the analyzes carried out showed very high Cd and Pb contents which greatly exceed the WHO and Algerian standards, while the Zinc concentrations are low. The abundant presence of heavy metals in the water of the stations studied can probably be justified by the geological provinces of the pedogeochemical background, urban and domestic waste, as well as by the location of certain sampling sites within agricultural fields.

The strong presence of heavy metals in drinking water can pose a real threat to the health of consumers of this water and requires the need to find means of decontamination.

Keywords: drinking water, cadmium, lead, zinc, contamination, Kissir, El Agrem, Bachelot, Texanna

ملخص

الماء هو أكثر المواد المرغوبة لازدهار الحضارات، والتلوث بالمعادن الثقيلة هو آفة المياه النقية في الطبيعة. بهدف تقييم جودة مياه الشرب وتركيز المعادن الثقيلة (الزئبق، الرصاص، الكاديوم) في المياه بولاية جيجل، قمنا بتحليل 3 عينات من مصدر نكسرة، 3 عينات من مصدر باشلوت، 3 عينات من مياه حنفيات المنازل التي وفرها سد كيسير و 3 عينات من مياه حنفيات المنازل التي وفرها سد العجرام، وقمنا بإجراء فحص للمعادن الثقيلة بواسطة مطياف الامتصاص الذري.

أظهرت نتائج التحاليل التي تم إجراؤها مستويات عالية جداً من الكاديوم والرصاص والتي تفوق بكثير معايير منظمة الصحة العالمية والجزائرية، في حين أن تركيزات الزئبق منخفضة.

من المحتمل أن يكون الوجود الغزير للمعادن الثقيلة في مياه المحطات المدروسة مبرراً بالمقاطع الجيولوجية للخلفية البيوجيوكيميائية، والنفايات الحضرية والمنزلية، وكذلك وجود بعض مواقع أخذ العينات داخل الحقول الزراعية.

للمعادن الثقيلة في مياه الشرب تهديداً حقيقياً لصحة مستهلكي هذه المياه ويتطلب الحاجة إلى إيجاد وسائل لإزالة التلوث.

كلمات مفتاحية: مياه شرب، كاديوم، رصاص، زئبق، تلوث، كسير، العجرام، باشلوت، نكسرة