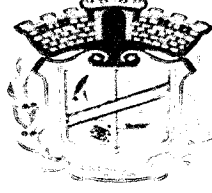


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE JIJEL  
Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la vie  
Département de la Biologie Animale et Végétale

جامعة جيجل  
كلية العلوم الدقيقة وعلوم الطبيعة والحياة  
قسم البيولوجيا الحيوانية والنباتية

جامعة محمد الصادق بن يحيى  
كلية علوم الطبيعة والحياة  
المكتبة  
رقم الجرد : 1789.....



Copie corrigée  
S. Khaled Khodja

*Mémoire de fin d'étude*

*En vue de l'obtention du diplôme : Master académique*

*Option : Phytopharmacie et gestion des agrosystèmes*

*Thème*

*Etude de la pollution métallique de l'eau par le  
cuivre et le zinc dans le bassin versant agricole de  
l'oued Nil -Jijel.*

**Membres de Jury :**

- ❖ Président : M<sup>me</sup> KHALED KHODJA S
- ❖ Examinatrice : M<sup>elle</sup> HABILA S
- ❖ Encadreur : M<sup>elle</sup> BALLI N

**Présenté par :**

- ❖ Soumia Boudina
- ❖ Besma Bouazizi

Numéro d'ordre ...../.....



Session : Juillet 2011

## **Remerciement**

*Le travail présent dans ce mémoire a été effectué au laboratoire d'écotoxicologie au sein de l'université de Jijel.*

*Nous remercions en premier lieu dieu tout puissant pour le courage et la volonté qu'il nous a prodiguées.*

*Notre gratitude et nos respects à Mademoiselle **Nassima balli** pour son encadrement exemplaire, son assurance, ses amples conseils, ses aides précieuses, sa bienveillante attention et sa disponibilité permanente.*

*On remercie très vivement Madame **Soumia Khaled Khodja** d'avoir bien voulu présidé notre jury de soutenance et a être intéressé à notre travail.*

*On exprime notre profonde reconnaissance à Mademoiselle **Safia Habila** l'examinatrice du notre jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et de porter un éclairage différent.*

*Nos sincères remerciements vont également à tous ceux qu'on nous entouré durant ces cinq ans, au sein de la promotion 2011.*

*Il est bon et juste d'évoquer l'appui moral ainsi que la sollicitude trouvée auprès de toutes nos familles. On tient à exprimer nos sentiments les plus respectueux et notre profonde reconnaissance à nos parents, à nos frères et nos soeurs, pour les encouragements constants qu'ils ont déployé tout au long de ces années d'étude.*

*Enfin, on remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont apporté leur contribution à ce travail. On leur exprime ici toutes nos reconnaissances et nos sympathies.*

# Table des matières

Introduction .....	1
--------------------	---

## *Chapitre I ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE*

### *I.1 Généralités sur l'eau*

I.1.1. Ressources en eau.....	3
I.1.1.1 Le cycle de l'eau.....	3
I.1.1.2. La quantité totale d'eau sur terre.....	4
I.1.1.3. La consommation humaine.....	4
I.1.1.4. Ressources naturelles en eau.....	5
I.1.2. Qualité de l'eau et santé humaine.....	8
I.1.2.1 Normes et réglementations.....	8
I.1.2.2. Norme de qualité de l'eau.....	9

### *I.2 : Eléments Traces (ETM) Métalliques dans les eaux souterraines et activités agricoles*

I.2.1. La pollution métallique de l'eau.....	10
I.2.1.1. L'eau polluée .....	10
I.2.1.2. La pollution métallique .....	10
I.2.2. Généralités sur les Eléments Traces Métalliques (ETM).....	10
I.2.2.1. Propriétés physicochimiques des ETM .....	11
I.2.2.2. Rôle biologique.....	11
I.2.3. Origine des ETM dans les milieux aquatiques.....	12
I.2.3.1. Origine diffuse des ETM.....	12
I.2.3.2. Origine ponctuelle .....	13
I.2.4. Utilité des ETM dans l'agriculture.....	14
I.2.5. Impact des ETM sur les écosystèmes aquatiques .....	14
I.2.6. Toxicité des ETM.....	14
I.2.7. Propriétés des ETM sélectionnés.....	15
I.2.5.1. Le cuivre.....	15
I.2.5.2. Le zinc.....	16

## **Chapitre II MATERIEL ET METHODES**

II.1. Cadre général et caractérisation de la zone d'étude.....	17
II.1.1. Situation géographique.....	17
II.1.2. Aperçu géologique.....	17
II.1.3. Le contexte socio-économique.....	18
II.1.4. Le réseau hydrographique.....	18
II.1.5.1. Précipitations météoriques.....	20
II.1.5. Les données climatiques.....	20
II.1.5.2. Température.....	21
II.1.6. Description des sites retenus.....	22
II.2. Echantillonnage.....	23
II.2.1. Conditionnement des flacons avant l'échantillonnage.....	23
II.2.2. Prélèvement.....	24
II.2.3. Conditionnement des échantillons.....	25
II.2.4. Conservation des échantillons.....	25
II.2.5. Prétraitement.....	25
II.3. Méthodes analytiques.....	25
II.3.1 Principe de la SAA.....	26
II.4. Sources de pollution des eaux dans le bassin versant de l'oued Nil.....	26
II.4.1. La pollution domestique.....	26
II.4.2 Anciennes mines .....	27
II.4.3 Anciennes décharges .....	27
II.4.4. Agriculture.....	27

## **Chapitre III RESULTATS ET INTERPRE ATION**

III.1. Résultats de dosage du zinc.....	32
III.1.1. Résultats de dosage du zinc total.....	32
III.1.2. Résultats de dosage du zinc dissous.....	34
III.2. Résultats de dosage du cuivre.....	35
III.2.1 Résultats de dosage du cuivre total.....	35

III.2.2. Résultats de dosage du cuivre dissous..... 36

***Chapitre IV DISCUSSION***

IV.1. Evaluation des degrés de contamination par le zinc ..... 39

IV.2. Evaluation des degrés de contamination par le cuivre..... 41

IV.3. Evaluation de la biodisponibilité de zinc et de cuivre..... 42

***CONCLUSION*** ..... 43

***REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES***..... 45

## Liste des figures

<b>Figures</b> .....	<b>pages</b>
<b>Figure 1</b> .le cycle de l'eau.....	<b>3</b>
<b>Figure 2</b> .représentation du bassin versant.....	<b>6</b>
<b>Figure 3</b> .aquifère côtier- mer et aquifère côtier-zone humide- mer.....	<b>7</b>
<b>Figure 4</b> .schéma représentatif de quelques types de forages.....	<b>8</b>
<b>Figure 5</b> .situation géographique de la wilaya de Jijel.....	<b>17</b>
<b>Figure 6</b> .Le réseau hydrographique de la wilaya de Jijel.....	<b>19</b>
<b>Figure 7</b> .Précipitation mensuelle moyenne durant les années 2000-2009.....	<b>21</b>
<b>Figure 8</b> .Température mensuelle moyenne durant les années 2000-2009.....	<b>22</b>
<b>Figure 9</b> .Image satellite montre la situation de bassin versant de l'oued Nil.....	<b>23</b>
<b>Figure 10</b> .Les sites de prélèvement des échantillons .....	<b>24</b>
<b>Figure 11</b> .Spectromètre d'absorption atomique SAA6200.....	<b>26</b>
<b>Figure 12</b> .quantité d'engrais vendus à la wilaya de Jijel .....	<b>29</b>
<b>Figure 13</b> .Teneurs en zinc total (en mg/l) contenues dans les eaux des forages de l'oued Nil.....	<b>33</b>
<b>Figure 14</b> .Teneurs en zinc dissous (en mg/l) contenues dans les eaux des forages de l'oued Nil.....	<b>34</b>
<b>Figure 15</b> .Teneurs en cuivre total (en mg/l) contenues dans les eaux des forages de l'oued Nil.....	<b>36</b>
<b>Figure 16</b> .Teneurs en cuivre dissous (en mg/l) contenues dans les eaux des forages de l'oued Nil.....	<b>37</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableaux</b> .....	<b>Pages</b>
<b>Tableau I</b> .La quantité d'eau sur terre.....	<b>4</b>
<b>Tableau II</b> . Normes de l'OMS sur l'eau potable.....	<b>9</b>
<b>Tableau III</b> . Les nappes de la wilaya de Jijel.....	<b>20</b>
<b>Tableau IV</b> . Répartition mensuelle des précipitations (en mm) : 2000-2010.....	<b>21</b>
<b>Tableau V</b> . Répartition mensuelle moyenne des températures en C° (2000-2010).....	<b>21</b>
<b>Tableau VI</b> . teneurs moyennes en ETM dans le gisement de TIRI (Chahna).....	<b>27</b>
<b>Tableau VII</b> . Production agricole par groupe et par commune (2005).....	<b>28</b>
<b>Tableau VIII</b> . Effectif animal par commune de taher ,chakfa et chahna .....	<b>28</b>
<b>Tableau IX</b> . les engrais les plus utilisés par les agriculteurs de la zone d'étude et leur teneurs par le Cu et le Zn (mg/kg).....	<b>29</b>
<b>Tableau X</b> .Pesticides utilisés dans la zone d'étude selon le résultat de l'enquête.....	<b>30</b>
<b>Tableau XI</b> .Concentrations moyennes du zinc total (en mg/l) ± écarts types mesurées dans les sites retenus.....	<b>32</b>
<b>Tableau XII</b> .Concentrations moyennes du zinc dissous (en mg/l) ± écarts types mesurées dans les sites retenus.....	<b>34</b>
<b>Tableau XIII</b> .Concentrations moyennes du cuivre total (en mg/l) ± écarts types mesurées dans les sites retenus.....	<b>35</b>
<b>Tableau XIV</b> .Concentrations moyennes du cuivre dissous (en mg/l) ± écarts types mesurées dans les sites retenus.....	<b>37</b>

## Liste des abréviations et acronymes

**ADN** : Acide désoxyribonucléique.

**Ag** : argent.

**ARN** : Acide ribonucléique.

**As**: Arsenic.

**B**: Baladum.

**Cd**: Cadmuim.

**Co**: Cobalte.

**Cu** : Cuivre.

**EC**: Concentré émulsionnable.

**ETM** : Elément trace métallique.

**Fe** : Fer.

**Hg** : Mercure.

**HNO<sub>3</sub>** : l'acide nitrique.

**K** : Potassium.

**Mn** : Manganèse.

**Mo** : Molibdène.

**N** : Azote.

**Ni** : Nickel.

**NPK** : Azote, Phosphore, Potassium.

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé.

**ON** : Oude Nil.

**ONM** : Office National de Météorologie.

**P** : Phosphore.

**P** : précipitation.

**P.E** : Principal élément.

**Pb** : Plomb.

**PbS** : Galène.

**PH** : Potentiel hydrogène.

**PPS** : produits phytosanitaires.

**S.A.T** : Superficie agricole totale.



**S.A.U** : Superficie Agricole Utile.

**SAA** : Spectrophotométrie d`Absorption Atomique.

**SL**: Concentré soluble.

**SN** : système nerveux.

**SONAREM** : la société algérienne des mines.

**T** : température.

**Zn** : Zinc.

**ZnS** : Sphalérite.

# *Introduction*

## **Introduction**

Depuis plus de cinquante ans, la pollution est l'un des plus graves problèmes auxquels est confronté notre monde moderne. On entend par pollution, la présence dans l'environnement des grandes quantités de produits chimiques dangereux, généralement créés par l'homme, dont les effets nuisibles peuvent se faire durant de longues périodes sur toute la planète. Cette pollution peut affecter l'eau, l'air et la terre. Elle peut être évidente (nappes d'hydrocarbures flottantes sur la mer) [1]. Comme elle peut être beaucoup moins visible (pesticides répandus sur les champs ou éléments traces métalliques dissous dans les systèmes aquatiques).

L'eau, par sa qualité et son impact sur les organismes vivants, constitue le principal véhicule des effluents d'origines diverses (fertilisants, éléments traces métalliques), des micro-organismes et des molécules biologiquement actives. La présence, au long de son parcours, de substances plus ou moins polluantes, modifie les propriétés physico-chimiques de l'eau, qui acquiert ainsi de nouvelles propriétés biologiques.

Parmi les principaux polluants générés par les activités humaines, les éléments traces métalliques (Cu, Pb, Cr, Zn,...) posent effectivement des problèmes particulièrement préoccupants. Ces éléments, par leur nature non biodégradable, présentent une forte toxicité et peuvent être impliqués dans de nombreuses pathologies (atteintes du système nerveux central, du foie, des reins, mais aussi cancers et malformations embryonnaires) [2].

A l'échelle des bassins versants agricoles, les processus et les phénomènes majeurs qui vont influencer l'apport et le devenir de ces éléments traces sont l'altération, l'érosion, le ruissellement, les paramètres physico-chimiques des milieux et enfin les actions humaines.

L'agriculture moderne utilise effectivement de plus en plus d'intrants chimiques (fertilisants, pesticides) susceptibles d'être transférés vers les milieux hydriques et de constituer alors de sources de pollution diffuse non négligeables. Ces transferts s'effectuent par ruissellement, érosion ou par infiltration. Les éléments traces métalliques ou ETM s'accumulent dans le sol puis s'infiltrent vers les nappes d'eaux souterraines [3]. Leur temps de rémanence dans le sol ainsi que leurs effets adverses potentiels sur la santé humaine font de leur présence dans le sol un problème actuel et à venir.

C'est dans cette optique que nous nous sommes intéressés, dans la première partie de notre travail à évaluer le degré de pollution métallique des eaux des forages de l'oued Nil, et à évaluer dans la seconde partie du travail les origines éventuelles de cette contamination.

Enfin, le choix de focaliser notre étude sur le zinc et le cuivre, peut être justifié par leur présence quasi constante dans les compositions chimiques de divers traitements et

apports agricoles, soit comme élément de base, soit comme impuretés. En outre leur caractère toxique pour les êtres vivants fortes doses et leur non biodégradabilité.

Dans le premier chapitre nous avancé des notions générales sur l'eau et les problèmes de la pollution métallique de l'eau.

Le second chapitre comporte une étude générale des caractéristiques géologiques, hydriques, climatiques. Une description du bassin versant de l'oued Nil et l'identification des éventuelles sources de pollution. Les techniques chimiques utilisées pour le dosage du zinc et du cuivre sont aussi décrites. Le troisième chapitre est consacré aux résultats obtenus et leurs discussions. Pour fini, une conclusion général est donnée .

# **Chapitre I**

## ***ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE***

## I.1 Généralités sur l'eau

### I.1.1. Ressources en eau

L'eau est une ressource limitée indispensable à la vie, il circule environ 1,4 milliards de kilomètre cubes d'eau à travers le cycle hydrologique sur la planète. Selon les estimations, entre un et trois dix milliards seulement de l'eau du globe sont disponible pour la consommation humaine [4].

#### I.1.1.1. Le cycle de l'eau

L'eau, élément sous trois formes (liquide à l'état normal, gazeuse en vapeur, solide en glace), parcourt un cycle éternel. L'eau en évaporation lente et incessante des fleuves, des lacs et des mers par condensation, se transforme en pluie. Une fraction des eaux de pluie ruisselle à la surface de la terre et va grossir les cours d'eau et les lacs, d'où elle est sujette d'une part à l'évaporation, d'autre part à l'infiltration à travers le sol. Les eaux d'infiltration sont reprises en partie par la végétation, qu'elles alimentent avant d'être rejetées dans l'atmosphère, et en partie s'accumulent dans le sous sol pour former des nappes souterraines qui, à leur tour, en s'écoulant, donnent naissance aux sources qui émergent à la surface du sol et le cycle continue (Figure 1) [5].

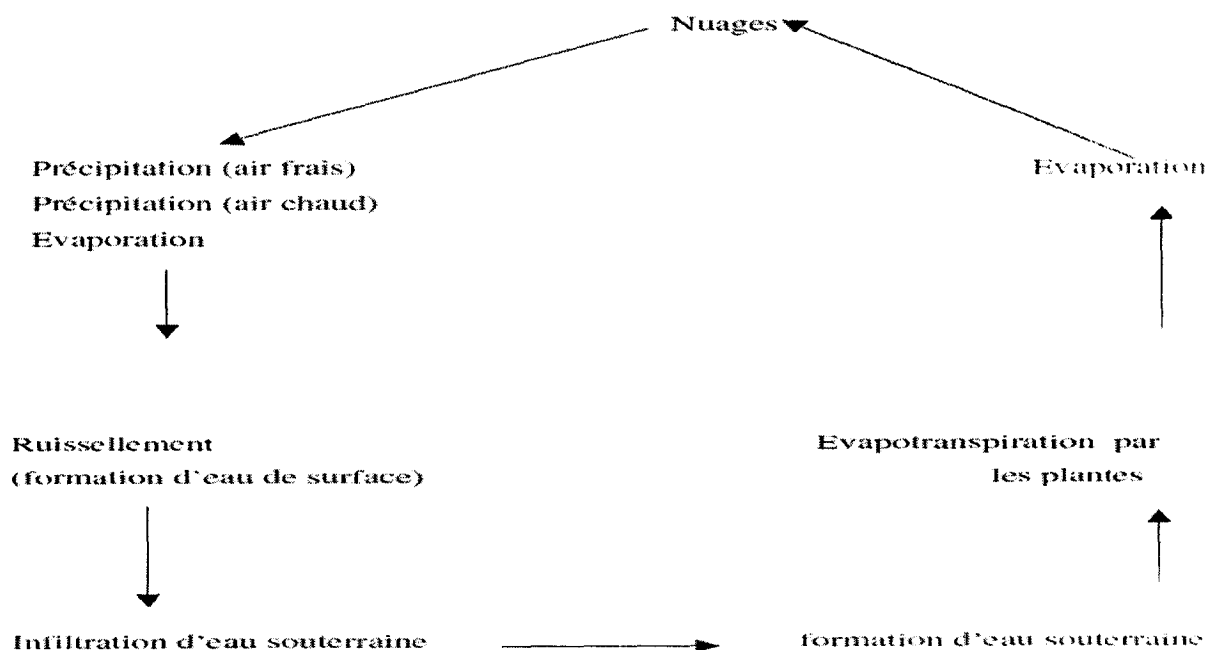


Figure 1 • le cycle de l'eau [5].

### I.1.1.2. La quantité totale d'eau sur terre

Sur la terre, il y a l'eau visible : les océans, l'eau contenue dans les calottes polaires, les lacs, les rivières, les nuages et la pluie ; et l'eau invisible : les eaux souterraines [4].

**Tableau I** : La quantité d'eau sur terre [4].

Stocks totaux d'eau	1,4 milliards de km <sup>3</sup>	
océans, mers	1,35 milliard de km <sup>3</sup>	97,4 %
Glaces	27,5 millions de km <sup>3</sup>	1,98 %
eaux souterraines	8,2 millions de km <sup>3</sup>	0,59 %
lacs, rivières	207 000 km <sup>3</sup>	0,015 %
humidité du sol	70 000 km <sup>3</sup>	0,005 %
eau des cellules vivantes	1 100 km <sup>3</sup>	0,0001 %
humidité de l'air	13 000 km <sup>3</sup>	0,001 %

Si l'eau est très présente sur terre, 97 % de la ressource est de l'eau salée et 2 % est bloquée sous forme de glace. Il ne reste environ que 1 % d'eau douce sous forme liquide. Les eaux douces exploitées ont une origine continentale :

- les eaux de précipitation : atmosphère ;
- les eaux de surface : rivières, plans d'eau ;
- les eaux souterraines : elles proviennent du sous-sol (aquifères ou roches réservoirs) captées par sources naturelles ou forages. Elles représentent 0,6 % de la ressource totale en eau [6].

### I.1.1.3. La consommation humaine

L'agriculture occasionne environ 70 % de toute la consommation d'eau douce sur la planète. Cette consommation est essentiellement le fait de l'agriculture irriguée, qui occupe environ 17 % des terres cultivées mais assure 40 % de la production agricole mondiale (le reste étant assurée par l'agriculture dite pluviale). Les surfaces irriguées ont environ doublé dans le monde depuis 1960.

L'industrie est responsable d'environ 20 % de la consommation mondiale d'eau douce, et cette consommation industrielle augmente beaucoup depuis les années 1950. La consommation domestique (pour la boisson, la cuisine, l'hygiène personnelle...) représente 8 à 10 % de la consommation totale sur la planète [7].

#### **I.1.1.4. Ressources naturelles en eau**

L'homme à recours généralement, pour satisfaire tous ses besoins et permettre l'usage de l'eau dans ses diverses activités industrielles et agricoles, à deux types de ressources naturelles :

- ✓ les eaux superficielles ou de surface (rivière, fleuves et lacs ...etc.) ;
- ✓ les eaux souterraines.

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 les quels elle ruisselle [6].

##### **I.1.1.4.1. Eaux superficielles**

Elles sont constituées par toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Elles ont pour origine soit les eaux de ruissellement, soit les nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseaux puis de rivières. Ses eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisées par une surface de contact eau atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable.

Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles ou artificielles (retenues, barrages) caractérisées par une surface d'échange eau atmosphère Quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour souvent élevé.

Il s'agit d'une ressource facilement accessible mais malheureusement fragile et vulnérable, la pollution la rendant souvent impropre à l'utilisation en absence d'un traitement préalable [7].

Les eaux de surface sont rarement potables sans aucun traitement, elles sont généralement polluées bactériologiquement, de plus elles peuvent présenter plusieurs pollutions d'origine : urbaine, industrielle, et agricole [8].

##### **➤ Définition et caractéristiques d'un bassin versant**

Un bassin versant est une unité géographique naturelle sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets, il est drainée par un cours d'eau et ses affluents en amont d'un point (exutoire) par où transitent les produits des précipitations (figure 2). Il est généralement délimité par une ligne de relief ou de partage des eaux, on dit aussi bassin hydrographique, bassin d'alimentation ou bassine fluvial [4].



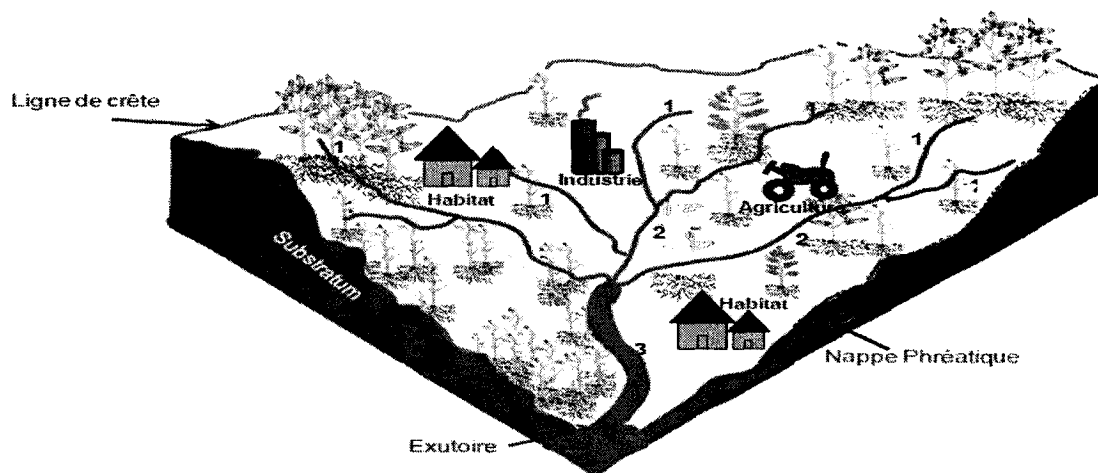


Figure 2 4 représentation du bassin versant [4].

#### I.1.1.4.2. les eaux souterraines

Formées par les eaux d'infiltration, les eaux souterraines participent d'une manière déterminante au cycle de l'eau :

- Elles offrent des propriétés de régularité, de qualité et de protection différentes de celles qui caractérisent les eaux de surface.
- Elles entretiennent le débit de base des rivières et la pérennité des zones humides parfois méconnues ou négligées, elles jouent un rôle économique considérable [9].

Les eaux souterraines sont généralement de très bonne qualité si elles proviennent de nappes très profondes. Néanmoins, elles peuvent contenir certaines substances indésirables telles que le gaz carbonique(CO<sub>2</sub>), le fer (Fe), le manganèse (Mn), des matières en suspension et plus rarement des nitrates, des pesticides et les éléments en trace ou infra-trace [10].

#### ➤ Définition d'un aquifère et les différents types des nappes

**Un aquifère** est un corps (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée suffisamment conductrice d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantité d'eau appréciable [11].

Un aquifère côtier est un aquifère localisé en zone côtière et en communication avec la mer ou l'océan. Il peut être en relation directe avec la mer ou par l'intermédiaire de zone humide, le cas de la zone de notre étude, comme la montre la figure 3.

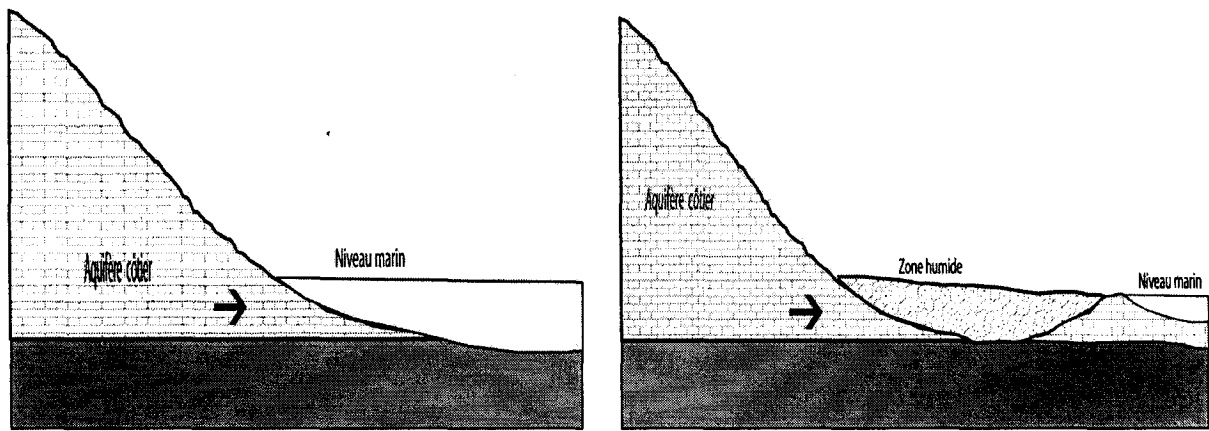


Figure 3 : aquifère côtier- mer et aquifère côtier-zone humide- mer [12]

Une **nappe** est l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique [12].

Plusieurs classifications des nappes coexistent en fonction du cadre géologique ou hydrodynamique. Généralement, on rencontre des nappes captives et des nappes libres. La nappe captive aussi appelée nappe artésienne est une nappe aquifère qui est confinée entre deux couches imperméables. La nappe libre aussi appelée nappe aquifère est une formation géologique perméable et saturée d'eau [13].

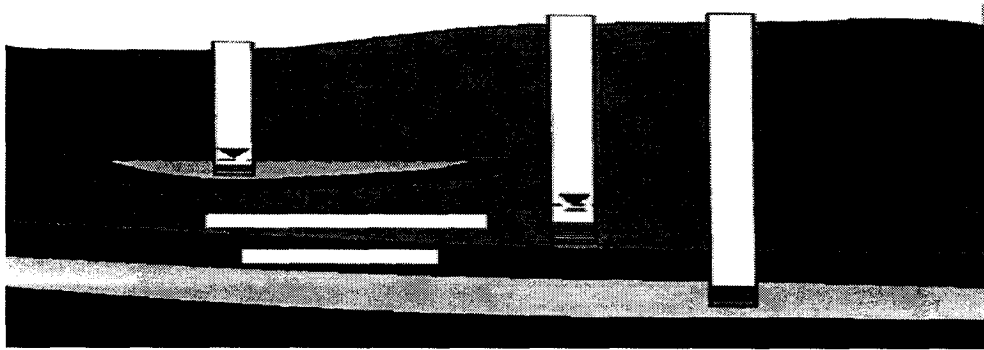
#### ➤ Alimentation d'une nappe

La source d'alimentation en eau d'un bassin hydrologique est fournie par les précipitations efficaces, c'est à dire par le volume d'eau qui reste disponible à la surface du sol après soustraction des pertes par évapotranspiration réelle. L'eau se répartit en 2 fractions:

- ✓ le ruissellement qui alimente l'écoulement de surface collecté par le réseau hydrographique;
- ✓ l'infiltration qui alimente le stock d'eau souterrain [12].

#### ➤ Les forages

Un forage est l'ouvrage moderne le plus répandu pour l'exploitation des eaux souterraines, mais ce terme générique correspond à de très nombreuses techniques de réalisation (figure 4) [13].



**Figure 4** ; schéma représentatif de quelques types de forages [13].

### **I.1.2. Qualité de l'eau et santé humaine**

L'eau est essentielle pour la vie, mais elle peut transmettre et transmet des maladies dans les pays de tous les continents des plus pauvres aux plus riches.

Un peu partout dans le monde, des gens tombent malades. D'autres meurent, surtout les enfants, pour avoir fait confiance à la salubrité d'une eau ou d'un aliment. Parfois, il s'agit d'un simple manque d'hygiène, mais souvent c'est plutôt la dégradation de notre environnement qui en est la cause. Les maladies hydriques regroupent toutes les conséquences néfastes d'un contact direct avec de l'eau ou de la nourriture contaminée par des déchets d'origine humaine, animale ou chimique) [14].

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) affirme, avec insistance, que 80% des maladies proviennent de l'eau de boisson, dont les cancers divers, les maladies mentales, les hypertensions, les attaques cardiaques, Alzheimer, les rhumatismes, arsénicisme, choléra, diarrhée, hépatite A et E, méningite, polio et bien d'autres [15] .

#### **I.1.2.1 Normes et réglementations**

La qualité de l'eau de boisson suscite des inquiétudes pour la santé humaine dans des pays développés ou en développement partout dans le monde. Les risques pour la santé sont liés à la présence d'agents infectieux, de produits chimiques toxiques ou encore à des dangers de nature radiologique. L'expérience acquise dans ce domaine fait ressortir l'intérêt de démarches reposant sur une gestion préventive, englobant l'ensemble de l'approvisionnement, de la source d'eau au consommateur. L'OMS a mis en place des normes internationales relatives à la qualité de l'eau sous la forme de directives qui servent de base à l'élaboration de réglementations et de normes dans les pays développés et en voies de développement du monde entier [15].

En Algérie, la loi relative à l'eau a pour objet la protection des systèmes aquatiques et des milieux hydriques contre toutes formes de pollution susceptibles d'altérer la qualité des eaux et de nuire à leurs différents usages. Selon cette loi, les rejets d'effluents, les déversements ou les dépôts de matières de toute nature risquant de nuire

- à la capacité de régénération naturelle des eaux ;
- aux exigences de l'utilisation des eaux ;
- à la santé et la salubrité publiques ;
- à la protection des écosystèmes aquatiques ;
- à l'écoulement normal des eaux ;
- aux activités de loisirs nautiques

Sont interdits [16].

#### I.1.2.2. Norme de qualité de l'eau

En général, la qualité de l'eau est déterminée en comparant les caractéristiques physiques et chimiques d'un échantillon d'eau avec des directives ou des normes de qualité (tableau II). Dans le cas de l'eau potable, ces normes sont conçues pour assurer un approvisionnement en eau propre et saine pour la consommation humaine et, par conséquent, protéger la santé des personnes. Ces règles sont généralement basées sur un niveau scientifiquement acceptable de toxicité pour les êtres humains comme pour les organismes aquatiques [17].

**Tableau II** • Valeurs guides des métaux lourds [18].

<b>Constituants chimiques</b>	<b>Recommandations (année 2006) OMS</b>
As	10 µg / l
Cd	3,0 µg / l
Cr	50 µg / l (chrome total)
Cu	1,5 mg/l
Hg	1,0 µg / l
Ni	20 µg / l
Pb	10 µg / l
Se	10 µg / l
Zn	5 mg / l

## **I.2.1. La pollution métallique de l'eau**

### **I.2.1.1. L'eau polluée**

La pollution des eaux est un déversement, écoulement, rejet, dépôt direct ou indirect de matières de toute nature et plus généralement tout à fait susceptible de provoquer ou d'accroître la dégradation des eaux en modifiant leurs caractéristiques : physiques, chimiques, ou biologiques, qu'il s'agit des eaux superficielles, souterraines ou des eaux de mers dans la limite des eaux territoriales [4].

### **I.2.1.2. La pollution métallique**

Les ETM sont présents à l'état de trace dans la croûte terrestre. Leur présence dans les eaux naturelles résulte de processus naturels (érosion et altération, émissions volcaniques, diffusion d'aérosols à partir des sols et de l'eau de mer) et de l'activité humaine. Cette dernière est aujourd'hui considérée comme la principale source de contamination des eaux par les métaux et les métalloïdes. L'importance relative des sources de contamination anthropique (industrielle, domestique, ou agricole) est variable selon l'élément considéré et l'occupation des sols sur le bassin versant.

La pollution métallique pose un problème particulier, car les ETM ne sont pas biodégradables. En outre, tout au long de la chaîne alimentaire, certains se concentrent dans les organismes vivants. Ils peuvent ainsi atteindre des taux très élevés dans certaines espèces consommées par l'homme, comme les poissons. Cette " bioaccumulation " explique leur très forte toxicité [19].

### **I.2.2. Généralités sur les Eléments Traces Métalliques (ETM)**

Le terme élément trace métallique est conventionnellement utilisé pour désigner les 68 éléments minéraux constituant de la croûte terrestre, dont la concentration est pour chacun d'eux, inférieur à 0.1% [20], il désigne un groupe de 68 micropolluants minéraux dont la masse volumique est supérieur à 5-6 g.cm pouvant avoir un caractère polluant avec effets toxiques pour les organismes végétaux et animaux [21]. Certains de ces éléments sont des oligo-éléments qui à faibles doses sont bénéfiques, mais qui ont des caractères toxiques à doses trop élevées comme le cuivre, le zinc et le manganèse [22]. Par contre d'autres comme le plomb ou le cadmium sont des contaminants dès leur présence et sont très toxiques à des faibles doses.

### **I.2.2.1. Propriétés physicochimiques des ETM**

#### **➤ La solubilité**

La solubilité dans l'eau indique la tendance du métal à la mobilisation par lessivage ou par ruissellement. Elle dépend de l'élément et des conditions chimiques environnantes (pH, potentiel d'oxydo-réduction [23]). Plusieurs de ces composés sont facilement solubles [24], et sont transportables par l'eau, car ils suivent son écoulement. Ils sont souvent peu absorbés par les sols [25] et assimilables par les organismes vivants [26].

#### **➤ La stabilité**

Contrairement aux contaminants organiques, les ETM sont indéfiniment stables en tant qu'elles et ne peuvent être dégradés biologiquement ou chimiquement dans l'environnement. Une des conséquences les plus sérieuses de cette persistance est leur accumulation dans les chaînes alimentaires. Au bout de ces chaînes, ils peuvent atteindre des concentrations qui sont supérieures à celles trouvées dans l'eau ou dans l'air [27].

#### **➤ Volatilité**

La volatilité influe sur la libération par évaporation naturelle des polluants infiltrés dans les sols. D'une façon générale, les ETM sont à considérer comme non volatils à l'exception du mercure [28].

### **I.2.2.2. Rôle biologique**

Au niveau biologique, certains métaux comme le cuivre, le zinc et le fer jouent un rôle fondamental dans les réactions biochimiques. Le cuivre par exemple intervient dans la respiration cellulaire comme constituant du cytochrome c oxydase [29], avec le fer dans la formation des globules rouges et stimule les défenses immunitaires [30] et de façon générale dans l'activité de plusieurs enzymes impliquées dans diverses biotransformations. Le zinc qui est considéré comme le minéral le plus important en raison de la multiplicité de ses rôles, est un anti-infectieux, anti-oxydant et facteur anti-vieillessement, régule le taux de sucre dans le sang, participe à la répartition cellulaire et la formation des membranes cellulaires, régularise l'activité hormonale et le système nerveux central, indispensable à la croissance des cellules, co-facteur enzymatique, stimule la reproduction,...etc [31].

Des phénomènes de carences peuvent s'observer chez les organismes vivants quand ces éléments sont en trop faibles concentrations dans le milieu [32]. Chez l'homme, les carences en ces éléments peuvent entraîner des désordres métaboliques ayant des

conséquences plus ou moins graves (lésion de la peau, perte du goût, anémie...). Il est recommandé une ingestion quotidienne de 15  $\mu\text{g}$  de zinc, 2 mg de cuivre, de 50 à 200  $\mu\text{g}$  de chrome pour les adultes [33]. Notant cependant, absorbés en grande quantité, ces oligoéléments peuvent devenir toxique. Leur toxicité est essentiellement due à leur assimilation par les organismes qui ne les éliminent pas. Ils s'accumulent alors progressivement dans les chaînes trophiques [34].

### **I.2.3. Origine des ETM dans les milieux aquatiques**

Les pollutions peuvent être classées suivant différents critères ; en fonction de l'origine de la pollution (urbaine, industrielle, agricole), selon la nature des polluants (physiques, chimique, microbiologiques), selon la répartition géographique (pollution diffuse, pollution ponctuelle) ou en fonction de la répartition dans le temps (pollution permanente, pollution accidentelle, pollution saisonnière) [35].

Compte tenu les activités agricoles qui caractérisent les bassins versants, comme le cas de la zone de notre étude, nous allons baser sur les origines des pollutions selon leur répartition géographique :

#### **I.2.3.1. Origine diffuse des ETM**

Les pollutions dites diffuses concernent :

##### **a) Altération de la roche mère**

Les ETM sont présents de façon naturelle dans les sols. Ils proviennent en grande partie de l'altération de la roche mère du sous-sol et se concentrent au cours de la pédogenèse dans certains horizons particulièrement autour des massifs granitiques et constituent des stocks appelés fond pédo-géochimique, qui préexistent dans le profil avant toute intervention humaine [36].

##### **b) Activités agricoles**

Les pratiques agricoles modernes ont pour objectif de permettre une production quantitativement et qualitativement optimale. Les plantes comme les animaux nécessitent des soins tant pour croître que bien porter [37].

Cela implique l'utilisation des fertilisants organiques et minéraux et des pesticides qui contiennent des métaux tels que :

- ✓ **Les fumiers**, et particulièrement les déjections de porcs et de volailles, qui contiennent principalement du zinc et du cuivre [20];

- ✓ **Les boues urbaines** qui proviennent du traitement des eaux usées contiennent du zinc, du plomb, du chrome, et du cadmium [38] ;
- ✓ **Les engrais commerciaux** issus de fabriques ou de mines, contiennent également des teneurs en éléments traces souvent supérieures à celles des sols. De tous ces engrais artificiels, ce sont les engrais phosphatés qui apportent le plus d'éléments traces aux sols. Les engrais à base de chaux peuvent s'avérer riche en plomb, et dans une moindre mesure en zinc, cuivre et cadmium [38] ;
- ✓ **Les pesticides** sont également riches en métaux (Cu, As, Hg, Pb, Zn). Les sels de cuivre employés comme traitement fongicide sont à l'origine de la contamination en cuivre dans de nombreux sols de vignobles.

L'usage massif de ces fertilisants et pesticides est malheureusement accompagné d'une pollution accrue des terres cultivées puis des eaux continentales par divers contaminants minéraux ou organiques. A titre d'exemple, une application au sol de 4,5 tonnes métrique/ha de fertilisants carbonatés (un mélange de calcite et de dolomite) occasionnerait des teneurs de 140 g/ha de Zn et 12 g/ha de Cu [20].

#### **c) Dépôts atmosphériques**

Des apports par la voie atmosphérique existent également : volcanisme, érosion et transport éoliens de poussières, transport d'aérosols d'origine océanique, feux de forêts,...etc. Certaines eaux souterraines, en particulier dans les régions volcaniques ou les nappes profondes, sont très riches en ETM.

Pour le cas particulier des eaux marines, l'activité tectonique et le volcanisme sous-marin sont également à l'origine d'un apport en éléments métalliques [3].

#### **I.2.3.2. Origine ponctuelle**

Les pollutions ponctuelles, par contre, proviennent d'une surface délimitée, faible vis-à-vis du bassin versant des eaux souterraines ou de surface, et définie dans un espace géographique. Elles sont qualifiées quelques fois d'accidentelles, mais elles ont le plus souvent pour origine des fuites sur des conduites ou des cuves, ou l'infiltration de lixiviats d'un dépôt solide, quelquefois la retombée de polluants, émis dans l'atmosphère, sur le sol à proximité des points d'émission. La nature des produits polluants peut être fortement variée, mais les plus fréquemment rencontrés sont les hydrocarbures, les solvants chlorés, les chlorures, les sulfates, quelques éléments traces métalliques particulièrement mobiles (chrome hexavalent par exemple), et autres sous-produits de l'industrie [39].



#### **I.2.4. Utilité des ETM dans l'agriculture**

Certains éléments traces (les oligoéléments) font partie des substances nutritives dont les plantes et les animaux ont besoin pour leur développement. Ces oligoéléments présentent des utilités différentes selon qu'on s'adresse au règne animal ou au règne végétal [40]. Pour le règne animal les éléments comme Cu, Co, Fe, Mn, Ni, Zn, As, Cr, Se et V sont essentiels au bon déroulement de leur processus biologiques, alors qu'au niveau végétal seuls sont indispensables B, Cu, Co, Fe, Mn, Mo, Ni et Zn. Le zinc et le cuivre, par exemple sont souvent ajoutés à la ration alimentaire des animaux, surtout des porcs [38]. Le zinc semble être un élément très facilement assimilable par de nombreuses espèces végétales. Un apport de 410 g / ha/ an de zinc pour une culture entraîne un rendement de 18 T MS/ ha [41].

#### **I.2.5. Impact des ETM sur les écosystèmes aquatiques**

Les ETM sont souvent transportés sur de grandes distances par l'eau avec ou sans modification chimique. Les réactions de transformation conduisent généralement à des composés plus toxiques que l'élément d'origine (par exemple, la méthylation du mercure). En revanche, l'immobilisation des éléments traces par les particules diminue leur disponibilité pour les organismes aquatiques [42]. La dissémination des polluants au sein des écosystèmes aquatiques n'épargne aucun biotope: les planctons, les micro invertébrés, les invertébrés aquatiques, les poissons, les cétacés et mammifères aquatiques. Ces organismes, présents dans l'eau, sont particulièrement sensibles aux effets des ETM [27].

#### **I.2.6. Toxicité des ETM**

Les métaux lourds sont des polluants chimiques présents dans l'environnement, induisent une toxicité, quand ils sont absorbés en excès par rapport aux capacités d'assimilation de l'organisme, cela particulièrement vrai pour les ETM [36].

Les conséquences résultant d'une intoxication par les métaux présents dans l'environnement ont été traduite par ces effets :

##### **a) Cancérogénicité**

De nombreux métaux sont considérés comme cancérogènes pour l'homme, les animaux, ou les deux par des mécanismes d'action tels que le remplacement du  $Zn^{++}$  par du  $Ni^{++}$ ,  $Co^{++}$  ou  $Cd^{++}$  dans les protéines transformées ou des atteintes du cytosquelette affectant ainsi la fidélité de la polymérase dans la biosynthèse de l'ADN.

**b) Fonction immunitaire**

L'exposition à certains métaux peut entraîner l'inhibition de fonctions immunitaires. D'autres métaux comme le béryllium, le chrome, le nickel, l'or, le mercure, le platine, le zirconium peuvent induire des réactions d'hypersensibilité.

**c) Système nerveux**

En raison de sa sensibilité, le système nerveux (SN) est une cible fréquente des ETM. La forme physico-chimique est souvent le facteur déterminant de la toxicité : les vapeurs de mercure (métal) pénètrent facilement le SN et y exercent des effets toxiques alors que les dérivés inorganique ont une faible possibilité de pénétrer le SN en quantités suffisantes, et ne sont pas généralement pas neurotoxiques.

**d) Rein**

Le rein est le principal organe d'élimination, est aussi fréquemment un organe cible. Le cadmium affecte les cellules des tubules proximaux, provoquant l'excrétion urinaire de protéines de faible poids moléculaire, des acides aminés et de glucose, le chrome, le platine et les dérivés inorganiques du mercure sont responsables aussi de dommages, principalement au niveau des tubules proximaux.

**e) Système respiratoire**

Dans de nombreux cas, on constate une irritation et une inflammation des voies respiratoires, En cas d'intoxication aiguë, le chrome affecte les voies nasales, l'arsenic, les bronches et le béryllium, les poumons.

La toxicité des métaux lourds dépend évidemment de leur teneur dans le milieu, surtout de leur spéciation, leur forme chimique et les caractères physico-chimiques du milieu [43].

## **I.2.7. Propriétés des ETM sélectionnés**

### **I.2.7.1. Le cuivre**

✓ **Utilisation**

Le cuivre est un métal utilisé pour fabriquer des dispositifs électriques, en chaudronnerie, en tuyauterie, dans les canalisations d'eau et de gaz, dans la fabrication de pigments de teintures, dans la fabrication des produits phytosanitaires...etc. Aussi, les sels de cuivre (sulfate, acétate, dérivés organique) sont utilisés comme fongicides ou algicides en agriculture [44].

✓ **Nécessité**

Le cuivre est un oligo-élément essentiel entrant dans la concentration de divers enzymes. Chez l'adulte, une absorption quotidienne de 2 mg serait nécessaire. Les teneurs normales du cuivre sont inférieure 1 mg/l pour le sang et inférieure de 40 mg/l pour l'urine [45].

✓ **Toxicité**

Le cuivre présente une toxicité assez importante pour les êtres vivants. Certains de ces sels ont été utilisés à vaste échelle comme fongicides et sont localement à l'origine d'une contamination de sols cultivés par ce métal [46]. Il est extrêmement toxique pour les plantes aquatiques car il perturbe, à fortes doses, la croissance des végétaux.

Le cuivre est aussi un élément toxique pour la plupart des invertébrés lacustres et marin.

En milieu professionnel, peuvent se produire des dermiques, des troubles digestifs, des irritations pulmonaires, des effets néphrotoxiques et une augmentation de la cuprémie [47].

### **1.2.7.2. Le zinc**

✓ **Utilisation**

Le zinc est employé dans de nombreux alliages, pour la galvanisation des pièces métalliques, dans la fabrication de pigments de teinture, comme raticide dans la fabrication de produits phytosanitaires, dans la fabrication des batteries...etc.

Dans l'eau de mer, le zinc pur est surtout utilisé comme anode sacrificielle pour la protection des structures marines [46].

✓ **Nécessité**

Le zinc est un élément essentiel dans la nutrition humaine et animale. Chez l'être humain, le zinc est vital pour le fonctionnement de la plupart des enzymes (ADN, ARN) ainsi que pour la synthèse des protéines, la division cellulaire, la croissance et pour les transmissions des signaux du système nerveux. La quantité journalière recommandée serait de 15 mg pour un adulte et de 10 mg pour un enfant [45].

✓ **Toxicité**

Des cas de mortalité ont été rapportés chez l'homme après inhalation de vapeurs de composés de zinc.

L'ingestion plus de 2 g de zinc provoque des symptômes de fièvre, vomissement et d'autres irritations gastro-intestinales. On peut remarquer aussi des effets cardiaques. Le zinc altère les réponses immunitaires et de nombreux cas d'anémies ont été décrits [45].

# **Chapitre II**

## ***Matériel et Méthodes***

## II.1. Cadre général et caractérisation de la zone d'étude

### II.1.1. Situation géographique

La collecte de nos échantillons s'est fait au niveau du bassin versant de l'oued Nil, localisé dans le sud est de la wilaya de Jijel. Jijel est une ville côtière au nord-est Algérien. Située à 360 Km à l'est d'Alger, elle s'étend sur une superficie de 2398.69 Km<sup>2</sup> avec une façade maritime de 120 Km. Elle est caractérisée par un relief montagneux, on distingue principalement deux catégories de régions physiques :

- zone des plaines, situées au nord de la wilaya, le long de la bande littorale.
- zones de montagnes, qui constituent l'essentiel du territoire de la wilaya et couvrent (82%) du territoire [48].

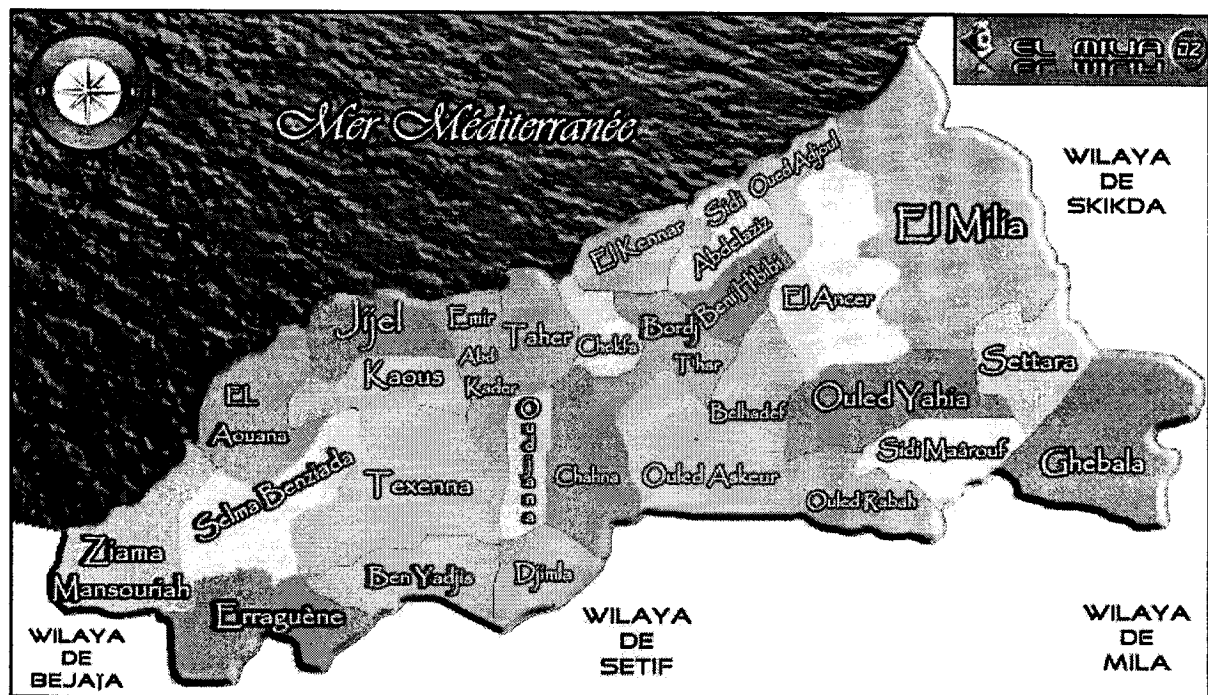


Figure 5, situation géographique de la wilaya de Jijel [48]

### II.1.2. Aperçu géologique

Géologiquement, la zone de notre étude fait partie de la petite Kabylie, qui représente le témoin le plus oriental des massifs cristallophylliens constituant en Algérie du Nord les noyaux des zones internes des Maghribides. Le massif de petite Kabylie et ses équivalents structuraux constituent un tronçon du système orogénique Alpin périméditerranéen. Structuralement, les Maghribides sont constitués de plusieurs nappes charriées sur la plateforme africaine. On distingue du nord au sud :

- ✓ Le domaine Kabyle
- ✓ Le domaine Flyschs
- ✓ Le domaine Tellien et l'Avant-Pays [49].

### II.1.3. Le contexte socio-économique

La wilaya de Jijel comptait selon le dernier recensement (31/12/2000) une population de 602 habitants pour une densité moyenne de 247 habitants au Km<sup>2</sup>. Aux diverses activités, la majeure partie de la population de cette région est liée à l'agriculture (secteur primaire).

La superficie agricole totale est estimée à 99024 ha, soit la moitié de la superficie totale de la wilaya mais la superficie utilisable n'est que de 43649 ha est irriguée à partir des cours d'eaux, des forages, des puits,...etc. La zone de notre étude faite partie des plaines de la wilaya de Jijel [49].

### II.1.4. Le réseau hydrographique

La région de Jijel, riche en ressources hydriques, ayant une forte pluviométrie qui peut atteindre 1100 mm /an de l'eau en moyenne. Les écoulements superficiels de la wilaya sont importants et sont estimés à 102 milliards m<sup>3</sup>/an. Ces écoulements sont drainés par les oueds qui sont des reliefs de la petite kabylie et qui sont limités naturellement par les hautes montagnes au sud et par la mer méditerranée au nord [50].

Les principaux oueds existants sont oued Kissir qui apporte en moyen 90 millions m<sup>3</sup>/an de l'eau, oued Nil avec 230 millions m<sup>3</sup> / an de l'eau, oued kébir-rhumel qui apporte environ 750 m<sup>3</sup>/an de l'eau et oued Djenjen avec in apport 500 millions m<sup>3</sup>/an de l'eau [50].

En générale le bilan hydrique des plaines côtières de la région peut être réparti en ruissellement (42 %), des précipitations et infiltration (5 %) et évaporation réelle (53 %) [50].

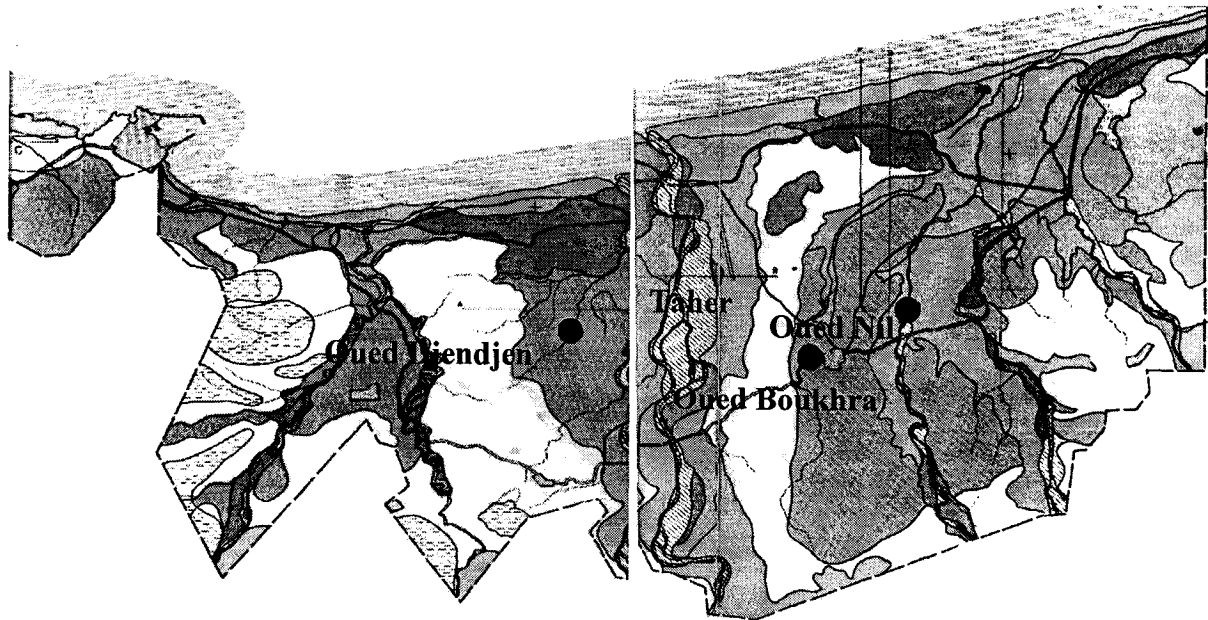


Figure 6. Situation de bassin versant de l'oued Nil [51].

➤ **Potentialités en ressources souterraines :**

La capacité totale des aquifères de la zone littorale est estimée à près de  $73,8 \text{ hm}^3/\text{an}$ , et elle est exploitée à 100% [52].

L'exploitation de ces nappes se fait par le biais des sources, puits et forages. Ces derniers sont au nombre de 78 et sont situés la plupart sur les nappes alluviales des Oued El Kebir, Oued Djendjen, Oued Nil, Oued Mencha et Oued Kissir (tableau III) [52].

**Tableau III** • Les nappes de la wilaya de Jijel [52].

Nom de la nappe	Réserve de la nappe en Mm <sup>3</sup> /an
Oued ZIAMA	0.5
Oued TAZA	0.25
Oued BOURCHAID	0.25
Oued KESSIR	1.7
Oued MENCHA	1.1
Oued DJENDJEN	10
Oued NIL	20
Oued EL KEBIR	40
TOTAL	73.8

### II.1.5. Les données climatiques

Les facteurs climatiques d'un milieu agissent directement sur l'ensemble des composantes biologiques d'un écosystème ou indirectement en modifiant les caractéristiques physiques d'un plan d'eau, par le biais de l'ensoleillement qui intervient sur la température de l'eau, ou la pluviosité, capable d'influencer le régime hydrologique [53]. En outre, ces facteurs ont un impact plus ou moins variable sur l'évolution des pollutions au niveau des nappes d'eaux tels que; les pertes des pesticides appliqués lors du traitement, les déchets des élevages intensifs des bovins et des volailles et la dégradation des roches.

Comme toutes les régions littorales, Le climat de la wilaya de Jijel est type méditerranéen caractérisé par l'existence des saisons thermiques nettement tranchées et par des précipitations concentrées pendant la saison froide, son régime climatique dépend de deux paramètres principaux; les précipitations météoriques et la température [53].

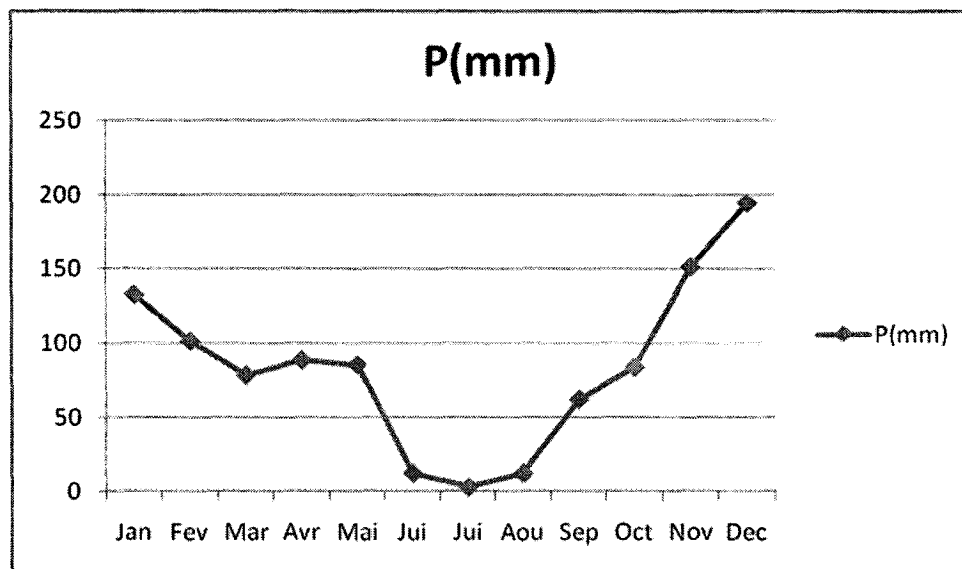
#### II.1.5.1. Précipitations météoriques

La pluviosité est un facteur climatique important dans le domaine des bassins versants. La région de notre étude est considérée parmi les régions les plus arrosées d'Algérie. Les résultats de la précipitation (P) mensuelle moyenne sont présentés dans le Tableau IV.



**Tableau IV** ♦ Répartition mensuelle des précipitations (en mm) :2000-2010 [54].

Mois	Janv	Fevr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
<b>P Moyenne</b>	159.3	98.5	77.4	77.9	51.4	11.2	3.1	16.5	75.1	70.5	150.4	189.7



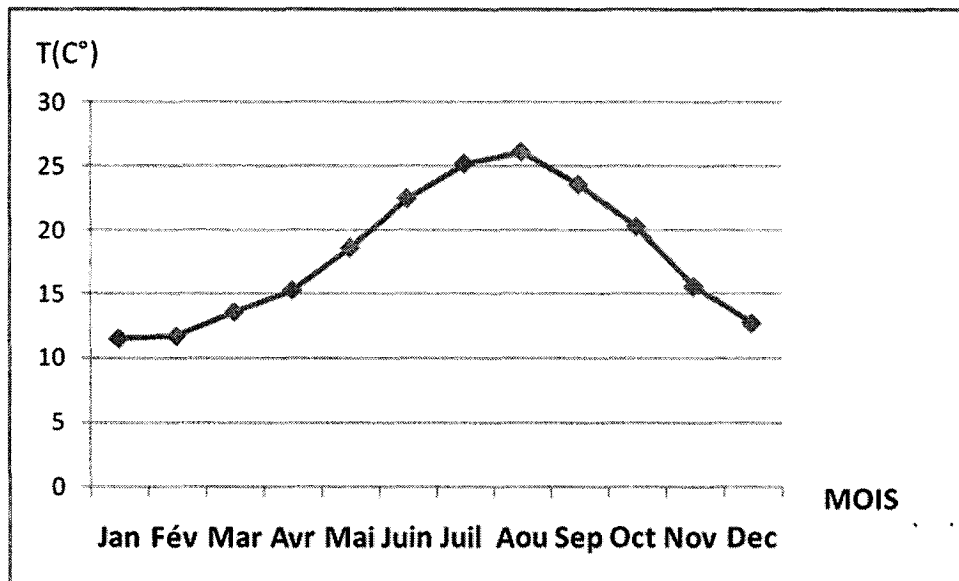
**Figure 7** ♦ Précipitation mensuelle moyenne durant la période 2000-2010.

### I.1.5.2. Température

Les valeurs moyennes de la température (T) mensuelle de la wilaya de Jijel sont présentées dans le tableau V.

**Tableau V** ♦ Répartition mensuelle moyenne des températures en C° (2000-2010) [54].

Mois	Janv	Fevr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
<b>TC° Moyenne</b>	11.22	11.72	13.8	15.9	19.1	23	25.8	26.5	23.5	20.8	15.7	12.7



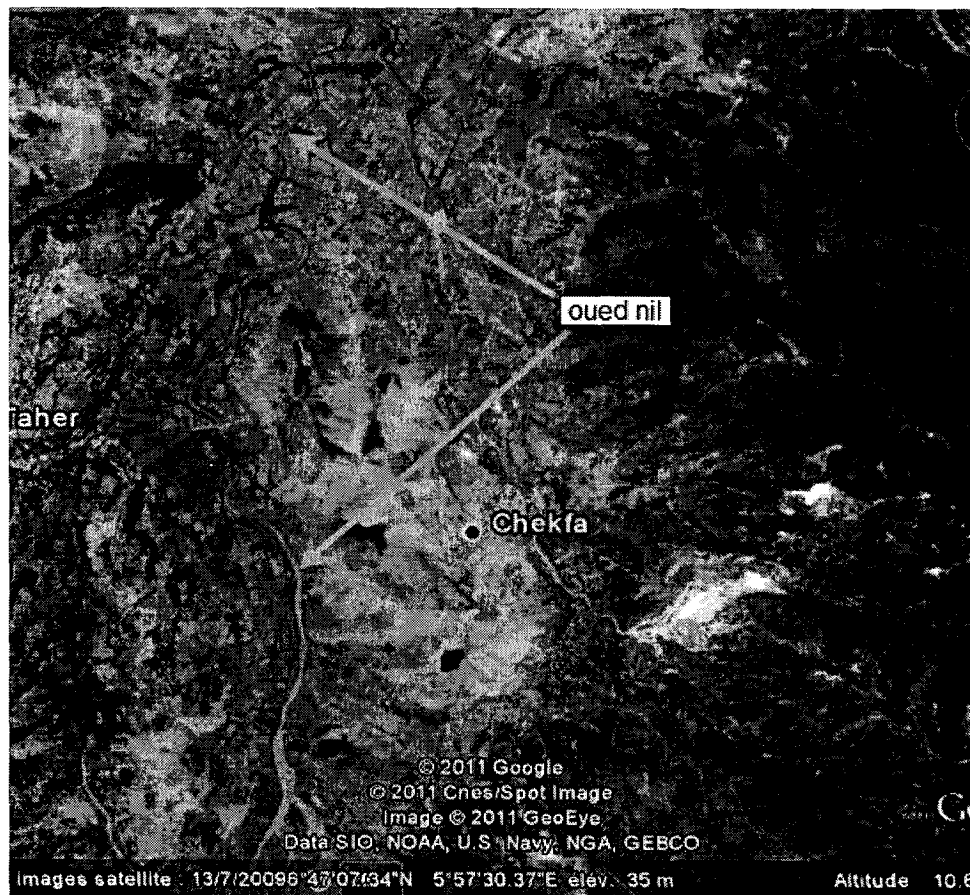
**Figure 8** - Température mensuelle moyenne durant la période 2000-2010.

#### II.1.6. Description des sites retenus

Notre étude concerne les forages du bassin versant de l'oued Nil, la source majeure en eau potable alimentant les villes de Jijel et de Taher. La daïra de Taher est distante de dix huit kilomètres à l'est de la ville de Jijel [51].

Taher est une ville de 68000 habitants caractérisée par une activité commerciale accrue et par les anciennes mines d'argent et l'or ainsi que de marbres localisées au niveau de la source de l'Oued Nil aux montagnes de Chahna au Sud de Taher [49].

Les forages retenus font partie du bassin versant de l'oued Nil situé à une vingtaine de Kilomètres au sud est de la ville de Jijel. Ce bassin occupe une superficie de 268 Km<sup>2</sup>, et il est limité par les reliefs de la petite Kabylie au sud, dont l'altitude dépasse aisément 500m.au nord , cette dernière est bordée par la mère méditerranée [51].



**Figure 9** Image satellite montrant la situation géographique du bassin versant de l'oued Nil [55].

## II.2. Echantillonnage

La qualité des résultats obtenus lors d'analyses de micropolluants métalliques dépend de la fiabilité, de la répétabilité des méthodes de dosage, mais également des précautions prises lors de l'échantillonnage, du stockage et de la préparation des prélèvements.

La période d'échantillonnage s'effectue au mois de Avril (le 26.04.2011) au niveau des forages de l'oued Nil ON 27, ON 34, ON 35, ON 23, ON 24, ON 33 qui alimentent la ville de Jijel, et ON 02 qui alimente la ville de Taher.

### II.2.1. Conditionnement des flacons avant l'échantillonnage

Pendant toutes les étapes du travail, les consignes pour éviter une éventuelle contamination ont été respectées. Les échantillons ont été collectés dans des flacons en polyéthylène de 500 ml, qui ont subis au préalable, un nettoyage minutieux suivant la méthode ultra- propre [56] : 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 %), associé d'un rinçage successif avec de l'eau distillée. En fin, une stérilisation dans l'étuve pendant 12 heures à 120 C° [56].

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.

### II.2.2. Prélèvement

Des précautions particulières ont également été prises lors du prélèvement. Pour chaque site, on prélève un flacon. 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°).



Figure 10 • Les sites d'échantillonnage [55].



### II.2.3. Conditionnement des échantillons

Pour assurer le meilleur conditionnement des échantillons et s'affranchir de problèmes de modifications de matrice et de contamination, tous nos échantillons sont acidifiés par 2 ml de l'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$  65 %) pour 100 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. Il est largement utilisé pour décomposer les échantillons organiques avant la détermination de la teneur en trace métallique, pour limiter l'adsorption des métaux sur les parois et enfin pour tuer ou empêcher le développement de microorganismes qui pourraient capter les métaux. Après acidification, tous les échantillons sont filtrés au travers des membranes filtrantes de porosité 0,45 $\mu\text{m}$  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 cuivre et en zinc dans nos échantillons [56].

### II.2.4. Conservation des échantillons

Avant l'analyse, pour la conservation des échantillons conditionnés, ceux-ci sont stockés à une température inférieure à 4 C° et à l'abri de la lumière.

### II.2.5. Prétraitement

Les progrès réalisés dans le domaine de l'industrie analytique permettent aujourd'hui d'accéder à des concentrations de plus en plus faibles, or, la plupart des instruments de mesure requièrent un traitement préalable de l'échantillon. Cette étape fait partie intégrante du protocole analytique.

Les échantillons d'eau sont prétraités suivant la méthode ISO 82 88 – 1986 CE qui consiste à concentrer les métaux lourds en solution aqueuse. Pour chaque 100 ml d'eau à analyser, nous avons ajouté 5 ml d'acide chlorhydrique. Le mélange est évaporé avec un évaporateur rotatif (Evaporator E100, Hei dolph) à une température inférieure à 100°C jusqu'à un volume de 15 à 20 ml. Après refroidissement, la solution est filtrée et le volume final est ajusté à 100 ml avec de l'eau déminéralisée [56].

## II.3. Méthodes analytiques

Le dosage de taux du cuivre et du zinc dans nos échantillons a été effectué par la spectrophotométrie d'absorption atomique avec flamme (SAA).

### II.3.1 Principe de la SAA

Le principe de la SSA est basé sur la propriété d'absorption d'un rayonnement lumineux par un élément en fonction de sa concentration dans la solution à analyser. Les atomes d'un élément donné sont capables d'absorber l'énergie apportée par des photons dont la fréquence est caractéristique de l'élément à doser. L'élément à doser dans l'échantillon est préalablement dissocié de ses composés chimiques et porté à l'état non excité et non ionisé dit « état fondamentale ».

Cette dissociation thermique est obtenue par la combustion de l'échantillon dans une flamme ou dans un four en graphite, une fois dissocié. L'élément est alors capable d'absorber de radiations de longueurs d'ondes bien définies, qu'il est capable d'émettre (loi de Kirchoff) (figure 11) [57].

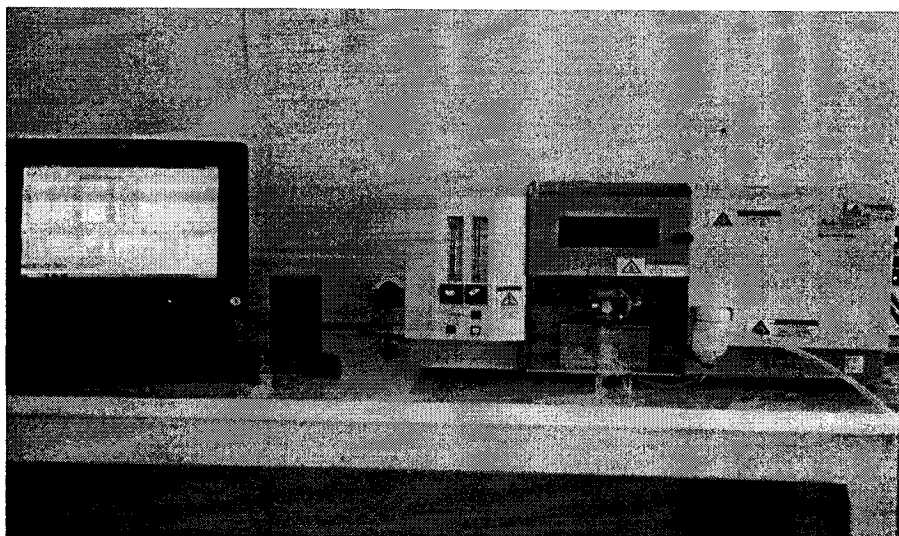


Figure 11. Spectromètre d'absorption atomique SAA6200.

## II.4. Sources de pollution des eaux dans le bassin versant de l'oued Nil

### II.4.1. La pollution domestique

Les rejets d'eaux usées ménagères sur les terrasses alluviales situées au nord de la route départementale D-136 sont considérés des sources importantes et permanentes d'enrichissement des eaux de bassin en ETM.

### II.4.2 Anciennes mines

Des apports en ETM d'origines anthropiques, provenant d'une ancienne mine de la société algérienne des mines **SONAREM** abandonnée en 19936. Des métaux précieux (or et argent) et de marbre située au niveau de la source de l'oued Nil à TIRI (montagnes de « Chahna » au sud du Taher) peuvent contribuer à enrichir les eaux souterraines de la zone de notre étude par les ETM dont les teneurs sont rapportées dans le tableau VI. Cette situation s'aggrave notamment avec la situation des forages de l'oud Nil en aval de ce site (TIRI). Ces terrils miniers abandonnés après différents travaux géologiques dans le site (sondage, tranché,..) laissent de grandes masses des déchets, riches en sulfures métalliques, qui libèrent en s'oxydant des eaux acides fortement chargées en ETM [49].

**Tableau VI** • teneurs moyennes en ETM dans le gisement de TIRI (Chahna) [49].

ETM	Teneur en ET M En million de tonne
Pb	109
Zn	84
Cd	639,4
Ag	304,3

### II.4.3 Anciennes décharges

Une autre source de l'éventuelle contamination des eaux de forages par les ETM peut se rapporter également à l'existence d'une ancienne décharge publique au niveau de l'oued Boukhara, un des affluents les plus important de l'oued Nil.

### II.4.4. Agriculture

L'agriculture, principalement située dans les périmètres irrigués par les eaux de l'oued, occupe des superficies très importantes dans le bassin de l'oued Nil. La disponibilité des eaux d'irrigation et les conditions climatiques favorables font de ce bassin une région à vocation agricole avec une prédominance maraîchère majoritairement réalisée en sericulture, mais également des cultures fourragères, des viticultures et des arboricultures fruitières. Ces différents types de cultures font appel à différents types d'engrais et de pesticides.

L'usage de ces produits phytosanitaires (PPS) de manière exagérée et intensive par les agriculteurs de la région, est une source importante de contamination des eaux souterraines par les ETM, plus particulièrement le cuivre et le zinc.

Les élevages intensifs des bovins et des volailles dans toutes les communes de la wilaya de Jijel comme le montre les tableaux semblent également une autre source probable de l'apport des ETM dans le sol, et par infiltration, dans les eaux. Il apparaît donc de façon nette que les rejets en provenance de ces élevages sur l'ensemble des terrasses alluviales situées au sud de la route départementale 135(D-1354) sont des sources importantes d'enrichissement des eaux de bassin en ETM [58].

**Tableau VII ♦ Production agricole par groupe et par commune (2005) [48].**

commune	S.A.U	Passages et parcours	Terres improductives	S.A.T
Taher	471	2025	546	3042
Chahna	782	1837	361	2980
Chakfa	1316	1721	290	3327

**Tableau VIII ♦ Effectif animal par commune de taher, chakfa et chahna [48].**

commune	Bovins	Dont vache	Ovins	Dont Brebis	Caprins	Dont clovres
Taher	6085	3982	3475	1886	944	380
Chakfa	5505	3201	4453	2743	4156	2791
Chahna	3399	2311	1558	802	3425	1520

Afin de pouvoir cibler la contribution des pratiques agricoles, et particulièrement l'usage des PPS, nous avons procédé un questionnaire pour les agriculteurs de la région ainsi que les distributeurs et commerçants des ces PPS.

Nos questions ont porté sur tous les PPS utilisés au cours de la culture a partir de la semence jusqu' a la récolte et le respect des méthodes d'application.

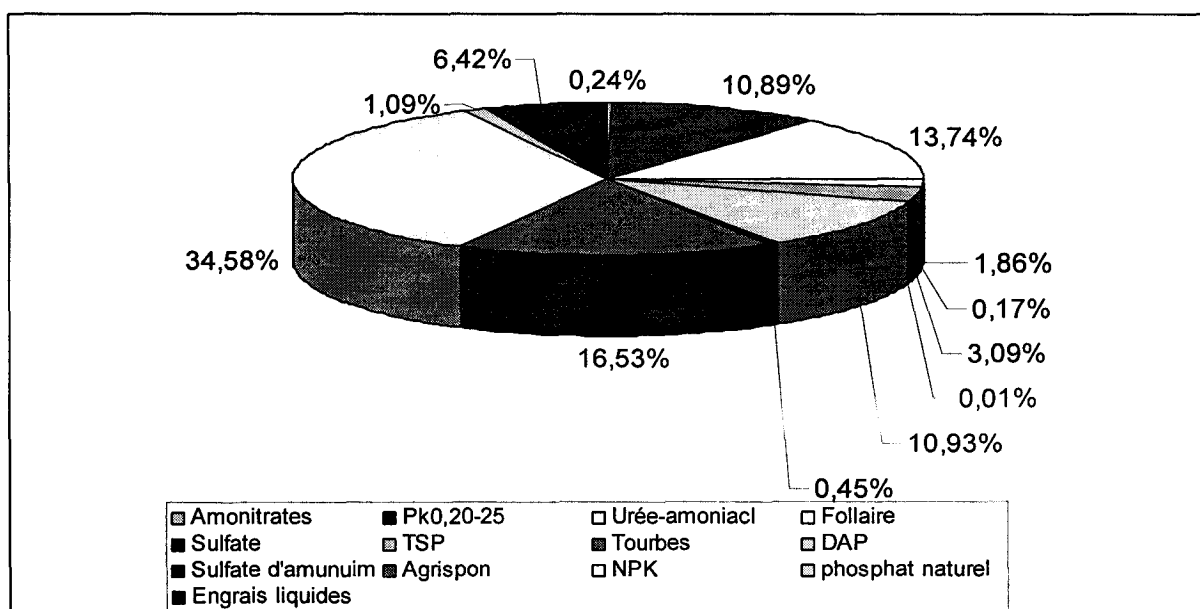
La liste des engrais le plus utilisé avec leur teneur par le Cu et le Zn est résumée dans le tableau IX :



**Tableau IX** les engrais le plus utilisé par les agriculteurs de la zone d'étude et leur teneur par le Cu et le Zn (mg/kg) [59].

Engrais	P.E	Cu	Zn
Sulfate d'ammonium	N	<1.1	1-6
Nitrate d'ammonium	N	3	3-7
Nitrate de calcium	N	5-15	2-42
Urée	N	<1.1	<1.1
Cyanamide de calcium	N	14	4
Superphosphate	P	20-135	55-235
Superphosphate triple	P	138	138
Sulfate de potassium	K	1-2	2-6
Composés NP	N, P	11-22	16-122
Composés NPK	N, P, K	4-23	19-78
Teneurs naturelles dans les sols		2-100	10-300

Un rapport de consommation d'engrais à jijel pour la période étendue de 1997 à 2005 indique les quantités d'engrais vendues à jijel( lorsqu'on parle de quantité vendue, cela veut dire les quantités utilisées dans les pratique agricoles au niveau de la wilaya) (fig. 10 ).On constate que les NPK sont les plus utilisés ( près de 45.47%). Les engrais phosphatés particulièrement le TSP constituent plus de 14.02% des engrais chimiques appliqués alors que l'urée ammoniacal représente 13.74% des engrais utilisés à jijel. Le reste est représenté par les autres produits fertilisants [60].



**Figure 12** quantité d'engrais vendus à la wilaya de Jijel [60].

L'ensemble des engrais utilisés par les agriculteurs de la région sont appliqués au cours de labourage des sols en automne et avant la semence. De même, la majorité des herbicides sont appliqués au moment de préparation de sol à la semence. Tandis que la plupart des fongicides et insecticides sont largement utilisés localement durant tous les stades de développement des végétaux cultivés.

D'après l'enquête qui a été menée avec les agriculteurs de la région, nous avons pu établir la liste suivante des pesticides les plus utilisés localement, il est résumé dans le tableau X :

**Tableau X** les pesticides les plus utilisés selon les résultats de l'enquête

Type de pesticide	pesticide	Matière active	Formule chimique	Formulation	Famille chimique
Fongicide	Antracol	propinèbe	$(C_5H_8N_2S_4Zn)_x$	SL	Dithiocarbamate (propylène-bis-dithiocarbamate de zinc)
	manèbe	manèbe	$C_4H_6N_2S_4 \cdot Mn$	SL	Dithiocarbamate éthylène-bis-dithiocarbamate de manganèse et de zinc
	Cuprosate 45 wp	<u>cuprobame</u>			Dithiocarbamate bis-chlorure diméthyl-dithiocarbamate tri cuivreux
	Milraz 62wp	milraz			
	agrivil	Hexaconazole	$C_{14}H_{17}Cl_2N_3O$		
	canivil				
	foldon	folpel	$C_9H_4Cl_3NO_2S$	SL	
Insecticide	Pechlorex	chlorpyrifos-ethyl		EC	organophosphorés
	Dursban				
	Chlorofos				
	flurofos				
	vertimec	Abamectine	$C_{48}H_{72}O_{14}$	EC	<u>avermectines</u>
	Decis	Deltaméthrine	$C_{22}H_{19}Br_2NO_3$	EC	Pyréthriinoïdes
	Mospilan	Acétamipr-ide	$C_{10}H_{11}ClN_4$	SL	Chloronicotinyles
	Lannate	methomyl	$C_5H_{10}N_2OS$	SL	Carbamates

Néanmoins, d'autres pesticides sont également très utilisés dont la formule chimique ne renferme pas les ETM comme constituants de base. Il s'agit dans la quasi totalité des cas des impuretés qui aggravent les problèmes de contamination de l'environnement adjacent, et plus particulièrement les eaux souterraines de la nappe de ce bassin. C'est le cas, à titre d'exemple de manèbe et methomyl qui renferment le Cuivre comme impureté.

# **Chapitre III**

## ***Résultats et interprétation***

Ce chapitre présente les résultats des dosages du cuivre et du zinc dans les eaux des forages retenus. Les deux formes métalliques, totale et dissous, ont été mesurés dans la présente étude.

Les résultats de cette analyse chimique sont synthétisés dans des tableaux et des histogrammes et commentés sous formes de paragraphes suivants.

### I.1. Résultats de dosage du zinc

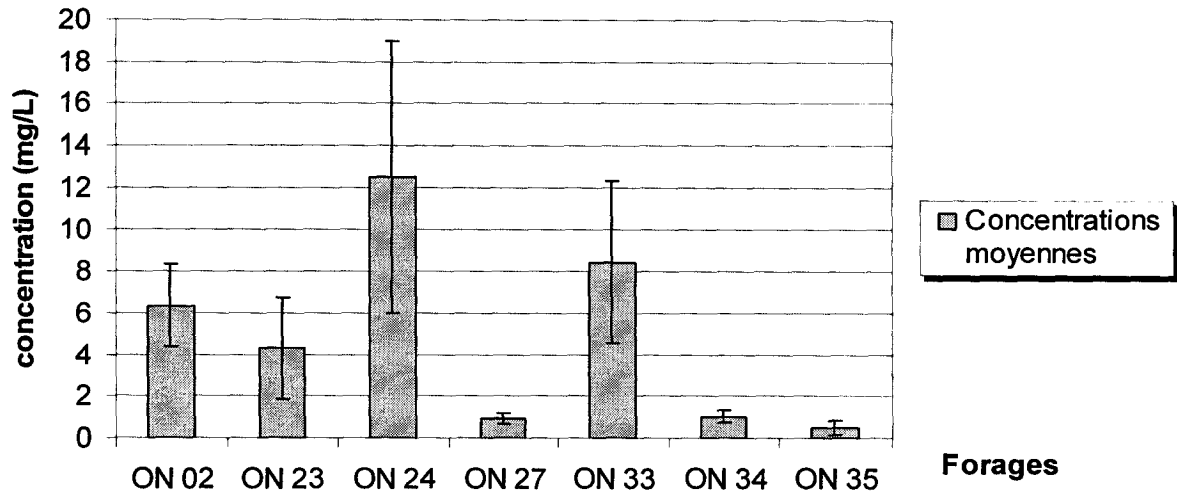
Les profils des concentrations du zinc sous ses deux formes, dissoutes et totales, sont présentés dans les tableaux et les histogrammes ci-dessous :

#### I.1.1. Résultats de dosage du zinc total

Les teneurs en zinc total sont récapitulées sous forme de moyenne  $\pm$  écart type dans le tableau XI :

**Tableau XI** • Concentrations moyennes du zinc total (en mg/l)  $\pm$  écarts types mesurées dans les sites retenus.

Sites (Forages)	Normes d'OMS (mg/l)	Valeur guide algérienne (mg/l)	Concentrations moyennes $\pm$ écarts types (en mg/l)
ON 02	5	5	6.3435 $\pm$ 1.9915
ON 23	5	5	4.3228 $\pm$ 2.4392
ON 24	5	5	12.464 $\pm$ 6.501
ON 27	5	5	0.90915 $\pm$ 0.25195
ON 33	5	5	8.435 $\pm$ 3.8705
ON 34	5	5	1.0185 $\pm$ 0.2978
ON 35	5	5	0.52475 $\pm$ 0.31525



**Figure 13** • Teneurs moyennes en zinc total (en mg/l) contenues dans les eaux des forages de l'oued Nil

L'estimation de la teneur en zinc dans l'eau des forages révèle l'existence d'une très grande variabilité d'un forage à l'autre, malgré la situation géographique très rapprochée, c'est le constat particulièrement de forage ON 24 et ON 35. Les concentrations en zinc total varient d'un minimum de 0.52475 mg/l pour le forage ON35 et un maximum de 12.464 mg/l pour forage ON24.

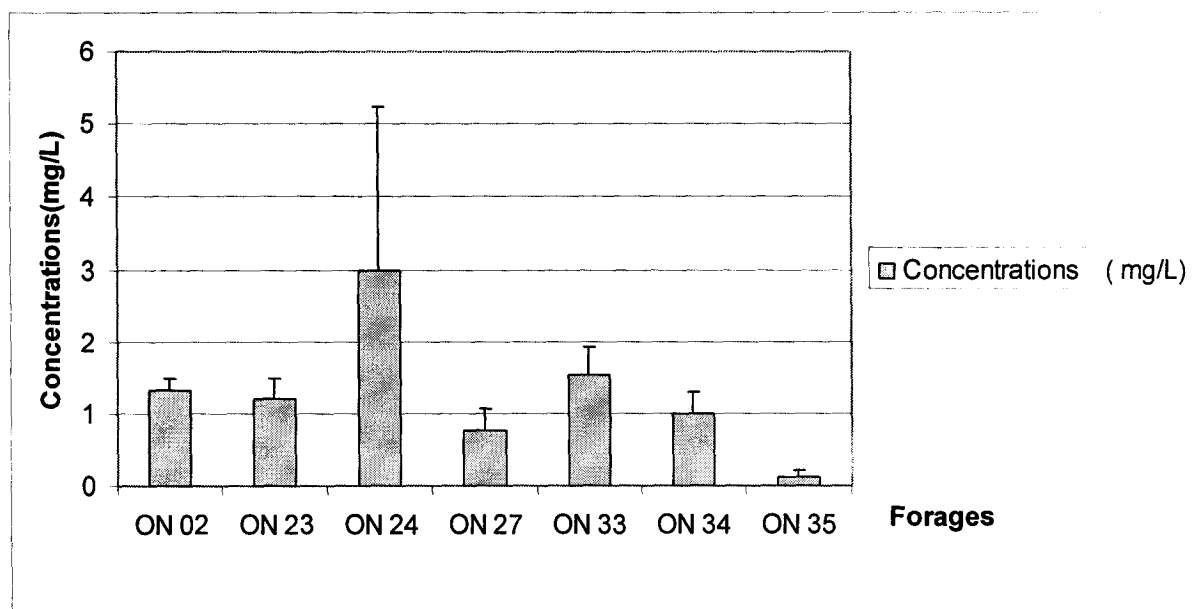
Les teneurs les plus élevées sont observées au niveau des eaux des forages ON24, ON 33, ON 02 avec des valeurs de 12.464 mg/l, 8.435 mg/l et 6.3435 respectivement, qui dépassent les normes algériennes et les normes préconisées par l'OMS du zinc (5mg/l) et les plus faibles au niveau du forage ON35 à 0.52475 mg/l. la moyenne générale de la teneur en zinc dans tous les échantillons retenus est de 4,859 mg/l  $\pm$  4,17.

**I.1.2. Résultats de dosage du zinc dissous**

Le tableau XII Synthétise les niveaux de concentrations en zinc dissous :

**Tableau XII** † Concentrations moyennes du zinc dissous (en mg/l) ± écarts types mesurées dans les sites retenus.

Site (forage)	Normes d'OMS (mg/l)	Valeur guide algérienne (mg/l)	Concentrations moyennes± écarts types (en mg/l)
ON 02	5	0.3	1.318065±0.153035
ON 23	5	0.3	1.20065±0.27045
ON 24	5	0.3	2.98105±2.25795
ON 27	5	0.3	0.7601±0.3014
ON 33	5	0.3	1.53705±0.38315
ON 34	5	0.3	0.9984±0.2979
ON 35	5	0.3	0.1112±0.0917



**Figure 14** † Teneurs moyennes en zinc dissous (en mg/l) contenues dans les eaux des forages de l'oued Nil.

L'ensemble des eaux de forages montrent des teneurs en zinc dissous inférieures à la norme de l'OMS (5 mg/l).

La comparaison des moyennes obtenues montre des grandes différences entre les forages concernant la teneur en zinc dissout. En effet, la valeur maximale du zinc dissous est enregistrée au niveau de forage ON 23 avec une moyenne 2.981 mg/l et un écart type de 2.25 et la valeur minimale au niveau de forage ON 35 avec un écart type de 0.0917. La moyenne générale des concentrations en zinc dissous est de 1,272 mg/l avec un écart type de 0,81.

## I.2. Résultats de dosage du cuivre

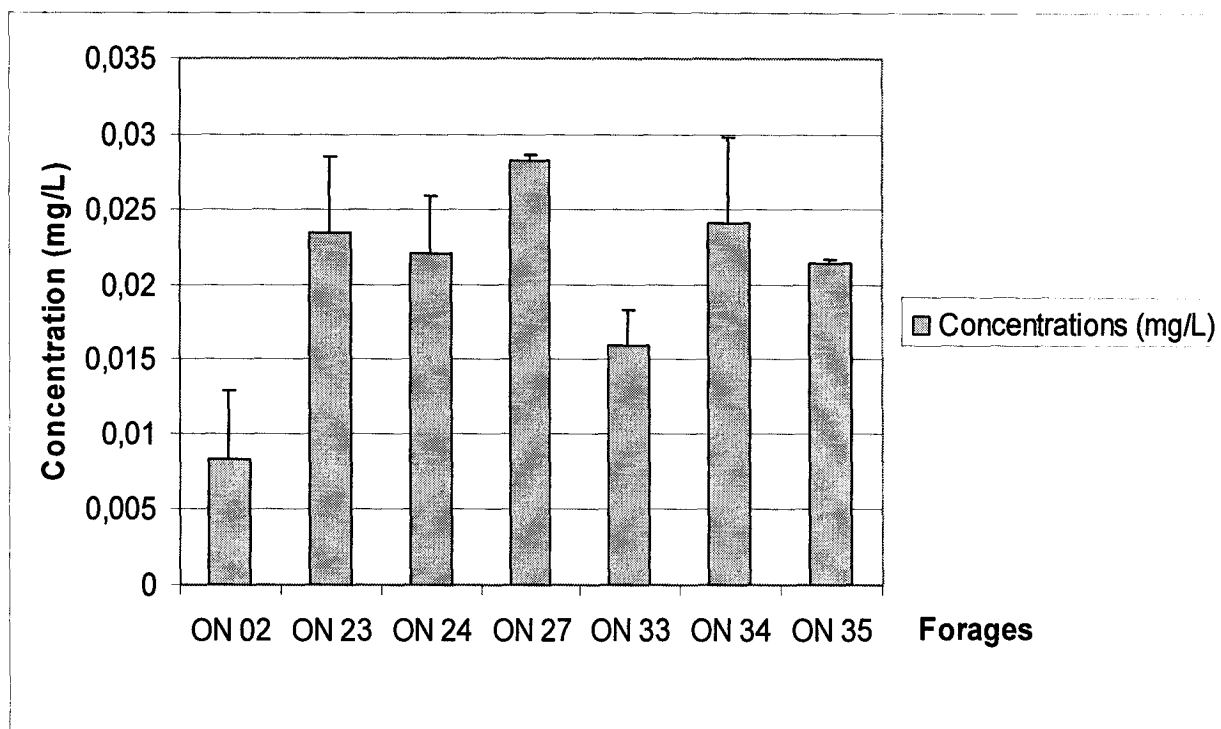
### I.2.1 Résultats de dosage du cuivre total

Le tableau XIII met en lumière les moyennes et les écarts types des teneurs en cuivre total :

**Tableau XIII** • Concentrations moyennes du cuivre total (en mg/l)  $\pm$  écarts types mesurées dans les sites retenus.

Site (forage)	Normes d'OMS (mg/l)	Valeur guide algérienne (mg/l)	Concentrations moyennes $\pm$ écarts types (en mg/l)
ON 02	1.5	0.05	0.0083 $\pm$ 0.00465
ON 23	1.5	0.05	0.0234 $\pm$ 0.00515
ON 24	1.5	0.05	0.022 $\pm$ 0.0039
ON 27	1.5	0.05	0.0283 $\pm$ 0.0003
ON 33	1.5	0.05	0.016 $\pm$ 0.0023
ON 34	1.5	0.05	0.02405 $\pm$ 0.00575
ON 35	1.5	0.05	0.02135 $\pm$ 0.00025





**Figure 15** ♦ Teneurs moyennes en cuivre total (en mg/l) contenues dans les eaux des forages de l'oued Nil.

D'après les résultats obtenus dans notre étude, nous remarquons que les teneurs de cuivre sont relativement faibles et ne dépassent pas les normes algériennes et de l'OMS. Ces teneurs semblent plus ou moins homogènes d'un prélèvement à l'autre.

L'observation de la figure permet de constater que les variations de la concentration de cet élément sont faibles (0.0083 mg/l).

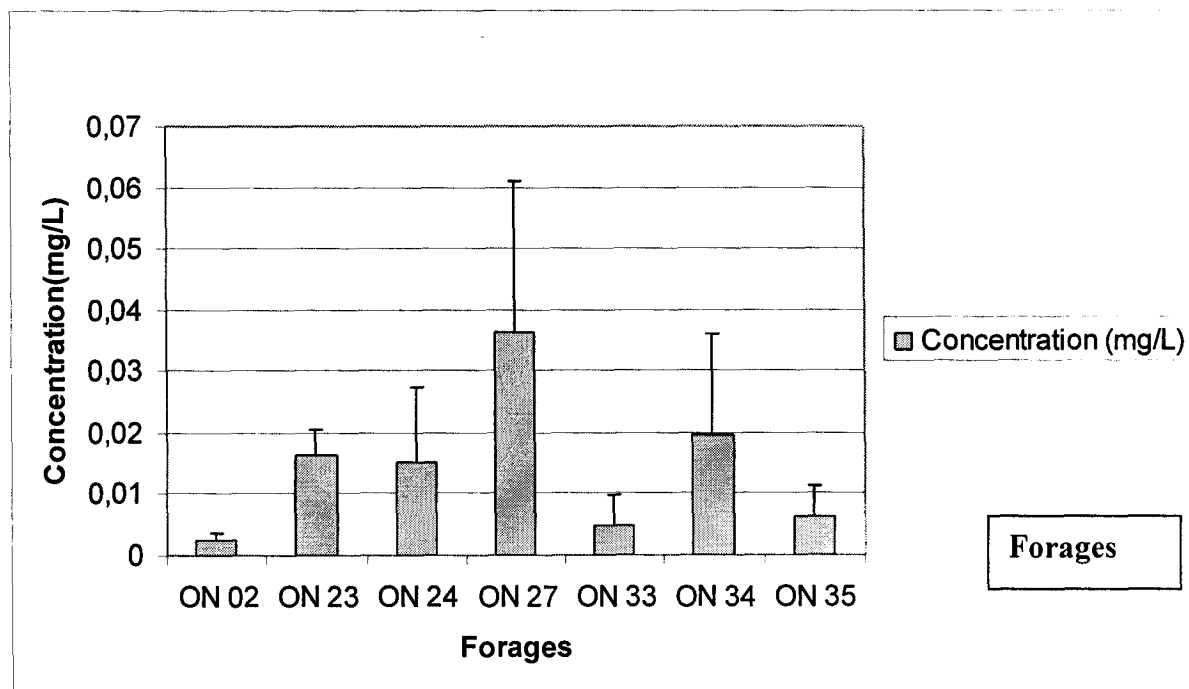
Cependant nous observons une légère augmentation dans le site ON 27(0.0283 mg/l) par rapport au site ON 02(0.0083mg/l). La moyenne générale de la teneur en zinc dans tous les échantillons retenus est de 0 .02 mg/l  $\pm$  0.006.

### **I.2.2. Résultats de dosage du cuivre dissous**

Le tableau XIV reporte les moyennes et les écarts types des teneurs du cuivre dissous dans tous les échantillons de l'eau analysée :

**Tableau XIV** • Concentrations moyennes du cuivre dissous (en mg/l)  $\pm$  écarts types mesurées dans les sites retenus.

Site (forage)	Normes (OMS) (mg/l)	Valeur guide algérienne (mg/l)	Concentration moyenne et écart type
ON 02	1.5	0.05	0.0024 $\pm$ 0.0013
ON 23	1.5	0.05	0.01645 $\pm$ 0.00405
ON 24	1.5	0.05	0.0153 $\pm$ 0.0121
ON 27	1.5	0.05	0.03645 $\pm$ 0.02455
ON 33	1.5	0.05	0.00485 $\pm$ 0.00485
ON 34	1.5	0.05	0.0196 $\pm$ 0.0164
ON 35	1.5	0.05	0.00615 $\pm$ 0.00505



**Figure 16** • Teneurs moyennes en cuivre dissous (en mg/l) contenues dans les eaux des forages de l'oued Nil

Les teneurs en cuivre dissous n'indiquent pas des différences majeures entre les différents sites (forages). La plus forte teneur (0.03645 mg/l) en cuivre a été enregistrée à la station ON23, alors la plus faible teneur (0.0024 mg/l) est observée à la station (ON 33).

L'ensemble de résultats obtenus souligne des teneurs faibles en cuivre dissous dans tous les forages qui ne dépassent pas les normes Algériennes (0.05mg/l) et d'OMS (1.5mg/l).

La moyenne générale des concentrations en cuivre dissous est de 0.014 mg/l avec un écart type de 0.01.

# **Chapitre *VI***

## ***Discussion***

La contamination des milieux aquatiques par les ETM est une préoccupation environnementale majeure qui suscite un grand intérêt au cours de ces dernières années. Et préoccupe toutes les régions soucieuses de maintenir leur patrimoine hydrique à un haut degré de qualité [61].

Les écosystèmes aquatiques sont de plus en plus menacés par différentes sources de pollution qui risquent de diminuer ses potentialités économiques et d'avoir des répercussions néfastes sur la santé humaine. Ainsi, certaines pratiques agricoles sont à l'origine de l'introduction des ETM dans l'eau, les produits destinés à améliorer la production végétale sont souvent plus riches en ETM. Le rôle de ces pratiques dans la contamination des sols doit être pris en compte car elles constituent la première étape vers la contamination des eaux souterraines [62] et peut donc engendrer des problèmes de santé publique.

#### **IV.1. Evaluation des degrés de contamination par le zinc**

Le zinc est un oligo-élément essentiel à toutes les espèces vivantes, dont la carence alimentaire présente un risque plus courant que cet oligo-élément peut devenir toxiques si sa concentration dépasse une certaine teneur dans l'organisme. La consommation quotidienne de zinc recommandée se situe entre 5 et 40 mg, les doses toxiques et létales étant respectivement de 150 à 600 mg et de 6g [63].

Nos résultats ont montré que les teneurs en zinc total dans les eaux de certaines forages dépassent la norme internationale et algérienne établie par 5 mg/l. Ces forages (ON 02, ON 24 et ON 33) présentent des concentrations en zinc total supérieures de 2 à 3 fois à la norme. Tandis que les forages ON 23, ON27, ON 34, ON 35 présentent des teneurs en zinc total inférieures à cette norme.

Un tel résultat peut être justifié, en premier lieu, par les activités agricoles au niveau de bassin versant de l'oued Nil qui constituent une source anthropique majeure de la contamination et contribuent de façon non négligeable à l'enrichissement des eaux souterraines en ETM. Par ailleurs, en tenant compte l'usage exagérément intensifié des engrais chimiques et des pesticides, le transfert de ce métal vers les sources d'eaux, soit par infiltration sur les surfaces cultivées, soit par lessivages, aggrave les risques de cette contamination.

Dans le monde entier, la communauté scientifique a largement étudié la contribution de l'application des pesticides dans l'enrichissement des sols et des eaux par des teneurs

élevées en éléments traces. Le zinc est le composant majeur de la matière active de plusieurs pesticides tels que le propinèbe et le manèbe, ces derniers représentent les pesticides les plus utilisés par les agriculteurs de la zone de notre étude. D'autres pesticides contiennent le zinc dans leurs dérivés, comme impureté, et contribuent ainsi à contaminer l'environnement par les ETM [63].

Selon Senesi et al [59], Les engrais azotés- phosphatés peuvent contenir jusqu'à 122 mg de zinc par kg de fertilisants et le composé NPK jusqu'à 78 mg de zinc par kg de fertilisants. Ces fertilisants s'infiltreront vers les eaux souterraines et constituent une source de contamination dangereuse pour les eau de forages.

En outre, la localisation des forages de l'oued Nil au sein des champs agricoles augmente le risque de cette contamination par les ETM.

De même, les élevages intensifs des bovins et des volailles sur l'ensemble des terrasses alluviales de l'oued Nil sont probablement responsables des transferts du zinc contenu dans les déjections vers les cours d'eau. L'utilisation des lisiers animaux comme fertilisants organique des sols contribuent également un moyen de transfert de l'eau [64]. En effet selon Godin [65], les lisiers, les composts et les boues de stations d'épuration issus soit de l'élevage « hors sol », soit des déchets urbains, participent à hauteur de 40 % à la pollution en zinc des sols de France.

Néanmoins, la source de contamination des eaux par les ETM n'est pas uniforme, ces concentrations élevées apparaissent fort probablement influencées par la présence d'autres sources suspectes d'accentuer la contamination. Les ETM sont des éléments présents naturellement dans les eaux souterraines et dépendent de la géochimie structurale des aquifères [53]. L'analyse de la littérature scientifique porte une attention particulière sur la contribution de du fond pédogéochimique de certaines régions dans l'enrichissement des eaux souterraines en ETM. Dans les forages retenus, la part de zinc issu du fond pédogéochimique local qui résulte de phénomènes naturels géologiques peut être considérable. Selon une étude de Afalfiz et al [66] la zone de Taher est un véritable gisement naturel de roches métamorphiques riche en plusieurs éléments minéralisés dont essentiellement le plomb et le zinc laisse penser que les teneurs en zinc sont d'une part d'origine naturelle.

Des apports d'origine anthropiques, provenant d'une ancienne mine de la société Algérienne des mines SONAREM et de marbre située au niveau de la source de l'oued Nil (montagne de "Chahna" au sud du Taher) peuvent expliquer de leur part ces teneurs élevées. Les métaux exploités sont principalement présents dans le minerai sous forme de sulfures, tels que la sphalérite (ZnS) et la galène (PbS), qui contiennent en impureté de nombreux autres

métaux (Cd, Cu, et Ag entre autres) et non métaux (principalement As). Cette exploitation a généré de grandes quantités de scories et de débris de creusets, souvent encore très riches en métaux, qui étaient stockés à l'air libre et sans précautions, conduisant à une contamination directe du site. Ces mines laissent des déchets riches en sulfures métalliques, qui libèrent en s'oxydant des eaux acides chargées en ETM.

Une autre source de cette contamination peut se rapporter également à l'existence d'une ancienne décharge publique au niveau de l'oued Nil. Depuis 1960, certains auteurs comme Gray et al [67], Rugge et al [68], ont montré la présence d'un réel danger liée à de nombreuses décharges étudiées en France, et au Canada sur la contamination des sources d'eau. Il est à noter que des nombreux alliages (laiton), de peintures, des accumulateurs à zinc sont parmi les sources importantes du zinc dans les décharges lorsque ces derniers sont stockés ou incinérés.

#### **IV.2. Evaluation des degrés de contamination par le cuivre**

Les niveaux de base de cuivre sont de 3 à 5  $\mu\text{g/L}$  en moyenne (0.2 à 30  $\mu\text{g/L}$ ) dans les eaux souterraines [69]. Les concentrations sont basses, particulièrement à cause du rôle de piège des sédiments, dans lesquels le niveau de base se situe entre 0.8 et 50  $\mu\text{g/g}$ . Les concentrations moyennes en cuivre dans les eaux continentales sont largement en dessous du seuil de 1,5  $\text{mg/L}$  conseillé par l'OMS pour l'alimentation humaine en eau potable, comme c'est le cas parfait trouvés dans notre cas, où des concentrations à l'état de trace ont marqué tous les eaux analysées.

Toutefois, la comparaison des résultats obtenus, de 8,3  $\mu\text{g/l}$  comme valeur minimale pour le forage ON 02 à 28,29  $\mu\text{g/l}$  comme valeur maximale pour le forage ON 27, avec les teneurs naturellement trouvés dans les eaux souterraines souligne clairement l'empreinte des activités agricoles dans l'enrichissement relatif des eaux en ce métal largement utilisé comme fongicide particulièrement pour la lutte contre le mildiou.

#### **IV.3. Evaluation de la biodisponibilité de zinc et de cuivre**

On définit la biodisponibilité comme le degré avec lequel un contaminant, dans une source potentielle, est assimilé sous la forme dissoute par un organisme [70]. La connaissance de la biodisponibilité d'un élément toxique dans un milieu donné est donc primordiale pour estimer l'exposition des organismes à ce toxique et son effet (toxicité, bioaccumulation, bioconcentration).

Dans le cas des ETM, il est connu depuis longtemps que les concentrations totales du milieu ne permettent pas d'évaluer l'exposition réelle ni les effets possibles sur les organismes. L'analyse de la fraction totale du métal donne des renseignements globaux sur le degré de contamination, néanmoins, cette analyse reste incomplète sans savoir quelle est la fraction réellement biodisponible et donc réellement toxique.

L'évaluation de la fraction biodisponible (fraction dissoute) des deux métaux étudiés, le cuivre et le zinc, met en lumière des teneurs faibles et suffisamment inférieures à la norme, ce qui présente une véritable marge de sécurité pour la santé des consommateurs de ces eaux. Mais en contre partie, une sonnerie d'alarme très puissante sur les éventuels risques auxquels ces consommateurs sont confrontés dont la mesure où la transformation chimique entre les différentes formes du métal (spéciation) est conditionnée par la variation des conditions physicochimiques environnantes telles que le pH, la température et la teneur en matière organique. En outre, généralement les eaux souterraines, de part leur salubrité, sont destinées directement aux consommateurs sans filtration ce qui augmente les risques par mobilisation des ETM particuliers dans les conditions acides de système digestif.



# *Conclusion*

## **Conclusion**

L'écosystème aquatique est de plus en plus menacé par différentes sources de pollution métallique qui risquent de diminuer ses potentialités économiques et d'avoir des répercussions néfastes sur la santé humaine.

Dans le but d'évaluer les risques de contamination par le zinc et le cuivre susceptibles d'être présents dans les eaux des forages de l'oued Nil et les origines éventuelles de cette contamination, des prélèvements d'eau ont été réalisés en différents sites (forages) et réservés à la mise en oeuvre pour une estimation des concentrations totales et dissoutes du zinc et cuivre.

Les résultats obtenus montrent que les eaux des forages de l'oued Nil représentent des concentrations faibles en zinc dissout et en cuivre total et dissous et des fortes concentration en zinc total qui dépassent les normes algériennes et internationales.

A l'issue de ces résultats et à partir des données disponibles sur le contexte socioéconomique de la région, nous pouvons conclure la forte contribution des apports agricoles dans l'enrichissement des eaux de forages en zinc.

L'agriculture est la principale activité économique de cette région, essentiellement dominée par les cultures maraîchères ainsi que les activités d'élevage très fréquentes autour des terrasses alluviales de bassin versant de l'oued Nil, ce qui fait penser que l'origine de ces teneurs élevées en zinc est due principalement à l'utilisation irrationnelle des pesticides et des engrais chimiques par les agriculteurs, une part importante de cet excès provient de l'érosion des sols agricoles contaminés par les engrais phosphatés riches en zinc.

Les autres sources susceptibles de contribuer à cette contamination peuvent trouver leur origines dans les effluents de l'ancienne mine située en montagne de Chahna, l'infiltration des lixiviat en provenance des dépôts de l'ancienne décharge de l'oued Boukarha, un des affluents principaux de l'oued Nil et les déversements incontrôlés d'origine urbaine dans le milieu naturel du bassin, ainsi que la contribution probable du fond pédogéochimique dans cette contamination. L'altération géologique de la roche mère de sous-sol fortement minéralisé enrichie les eaux souterraines du bassin versant de l'oued Nil en ETM. D'ailleurs, la zone de notre étude est un véritable gisement naturel, de roches métamorphiques, riche en plusieurs éléments minéralisés dont essentiellement le plomb et le zinc [66].

Pour la réduction du taux des ETM, il devient donc nécessaire d'instaurer un programme de contrôle et de surveillance continu des différentes sources de pollution et de leur effets sur l'environnement en proposant les perspectives suivantes :

- Utiliser des produits phytosanitaires de façon équitable ainsi que le matériel d'épandage doit être de plus en plus perfectionner pour minimiser les pertes ainsi que recyclage et la réutilisation des déchets.
- Faire des études géologiques plus approfondies sur le rôle du fond géochimique de la région dans l'enrichissement des eaux souterraines en ETM.
- Des études écotoxicologiques approfondies pour évaluer l'action de ces polluants sur les écosystèmes aquatiques et la santé humaine.

Enfin nous proposons pour la réduction du taux des ETM l'utilisation de plantes supérieures. Certaines plantes, dites métallophytes, sont capables de se développer normalement sur des sites fortement contaminés par divers métaux et certains de ces végétaux, qualifiés d'hyper accumulateurs [71], sont capables de stocker massivement les métaux.

***REFERENCES***  
***BIBLIOGRAPHIQUES***

- [13]- **Jean Jeques, C. 2004.** Les eaux souterraines Connaissances et gestion. BRGM éditions, Hermann éditeur des sciences et des arts, 1ère édition, PP 25- 27.
- [14]- **François, A. 2008.** L'eau et ses enjeux. De Boeck, Bruxelles, PP 145-146.
- [15]- **OMS. 2011.** Qualité de l'eau de boisson [en ligne].in Eau, assainissement et santé, recommandations OMS, Genève, disponible sur (<Http://www.who.int>),consulté le [28.03.2011].
- [16]- **Journal Officiel de la République Algérienne N° 60. 2005.** Lois. 30 Rajab 1426.
- Union des nations .*
- [17]- **UN. 2005.** Qualité de l'eau [en ligne].In l'eau source de vie, disponible sur (<Http://www.un.org>), consulté le 28.03.2011.
- organisation mondiale de santé .*
- [18]- **OMS. 2006.** Normes de l'OMS sur l'eau potable [en ligne].in Normes de l'eau potable disponible sur (<Http://www.lenntech.fr>) consulté le 26.02.2011.
- Centre nationale de recherche scientifique .*
- [19]- **CNRS. 2011.** La pollution métallique [en ligne].In, Découvrir l'eau, disponible sur (<Http://www.cnrs.fr>) consulté le 04.03.2011.
- [20]- **Alloway, B.J. 1990.** Heavy metals in soils. Blackie, Glasgow, PP 100-129.
- [21]- **Chatain, V. 2004.** Caractérisation de la mobilisation potentielle de l'arsenic et d'autres constituants inorganiques présents dans les sols issus d'un site minier aurifère. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 187 P.
- [22]- **Albain, F. 2004.** Rôle des activités lombriciennes sur la redistribution des éléments traces métalliques issus de boue de station d'épuration dans un sol agricole. Thèse de doctorat, université de Rennes I, 189 P.
- [23]- **Barbaste, M. 2004.** Comparaison de méthodes d'analyse des ETM et des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sur les sols et les végétaux. CERTU, Lyon, PP 18-18.
- [24]- **Pichard, A. 2005.** Cadmium et ses dérivés. Fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. ERIS- DRC, PP102-102.

- [25]- Hébrard, G; Martinen, I; Radzuk, B; Thomassen, Y. 2003. Spécies analysis of inorganic compounds in workroom air by atomic spectroscopy. Anal.Sci, 7-10-029103-2.
- [26]- Jumarie, C; Houde, M; Campbell, P; Denizean, F. 2001. Cadmium uptake by coco-2-olls : Effects of Cd complexation by chloride glutathion and phytochelation.
- [27]- Yao Mathieu, N. 2008. Dynamique des element traces dans les eaux de surface des bassins versants agricoles de gascogne. Thèse de doctorat, université de Toulouse. 213 P
- [28]- Ballerini, D., Gatelier, C., Vogel, T. 1998. Techniques de traitement par voies biologiques des sols pollués. ADEME, PP 65-65.
- [29]- Taulan, M. 2004. Conséquences moléculaires des expositions aiguës et chroniques à l'uranium sur le transcriptome murin. Thèse de doctorat, université de Montpellier I, 186 P.
- [30]- Corralés, M. 1987. Contribution à l'étude électrochimique du cuivre en milieu hydrogénocarbonaté. Thèse de doctorat, univ de Pau et des pays de l'Adour. 199P.
- [31]- Joyce, J. 2002. Oligo-éléments. Sadt édition. PP 54-54.
- [32]- Nicolau, R. 2005. Caractérisation et quantification des transferts dus aux petites rivières côtières méditerranéennes. Thèse de doctorat, unv de Toulouse. 198 P.
- [33]- Olivier, G. 2001. Toxicité potentielle des sédiments marins et estuariens contaminés : évaluation chimique et biologique, biodisponibilité des contaminants sédimentaires. Thèse de doctorat, univ de Bordeaux I. PP376.
- [34]- Chocat, B. 1997. Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement. Edition Lavoisier, Paris, PP 75-75.
- [35]- Andrée, L ; Jean-claude, R. Périodiques de protection des captages d'eau souterraine. 2<sup>ème</sup> édition, édition BRGM, PP 27-27.

- [36]- **Gardas, C.d. 2000.** Influences des conditions physicochimiques sur la mobilité du plomb et zinc dans un sol et un sédiment en domaine routier. Thèse de doctorat, univ de PAU et des pays de l'Adour. 192 P.
- [37]- **Rico, A. 2000.** Pollutions et pratiques agricoles : deux concepts, dose journalière admissible et chimiodéfense. C R Acad. Paris. 323(200) : 435-440.
- [38]- **Baise, D. 1997.** Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols. Eds : INRA , PP 29-29.
- [39]- **Ballerini, D., Gatelier, C et VOGEL, T. 1998.** Techniques de traitement par voies biologiques des sols pollués. ADEME, PP 146-146.
- [40]- **Juste, C. 1994.** Matières organiques et comportement des éléments traces dans le sol. Actes 4è journées de l'analyse de la terre (GEMAS) : matières organiques et agricultures, PP 115-123.
- [41]- **Juste, C., Chassin, P., Gomez, A., Lineres, M., Mocquot, B., Feix, I., Wiart, J. 1995.** Les micropolluants métalliques dans les boues résiduares des stations d'épuration urbaines. Convention ADEME-INRA, PP 112-112.
- [42]- **Brown, G.E., Foster, A.L., Ostergren, J.D. 1999.** Mineral surfaces and bioavailability of heavy metals: A molecular-scale perspective. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 96, 3388–3395.
- [43]- **Frank, C.LU .1992.** Toxicologie. Masson, paris, PP 298- 299-300.
- [44]- **Ramade, F.** Dictionnaire encyclopédique des pollution : les pollution de l'environnement à l'homme. Edition : Edi science international, PP 11-11.
- [45]- **Sirven, J.B. 2006.** Détection de métaux lourds dans les sols par spectroscopie d'émission sur plasma induit par laser (LIBS). Thèse de doctorat, université bordeaux 1, 252 P.
- [46]- **Rodier, J., Bazin, C., Boutin, J.P., Chambon, P., Rodi, L. 1996.** L'analyse de l'eau. 8ième édition, DUNOD, Paris, PP 143-143.

[47]- **Joris, M.A. 2005.** Etudes biochimiques et génétiques de la réponse adaptative de mollusques face aux contaminations métalliques et au stress oxydant. Thèse de doctorat, univ de Bordeaux I. PP265.

[48]- **Wilaya de jijel Monographie. 2009.** Edition : ANEP, rouiba, alger, PP 21-46- 52.

[49]- **Kidouche, H et Malouti, Z. 1991.** Etude géologique et gitologique de l'indice polymétallique à (Pb Zn Cu Fe Ba) de Tiri- Jijel- Algérie, PP120-120.

[50]- **Rapport de la direction de l'hydraulique de wilaya de Jijel. 2000.**

[51]- **S.D.A.T Jijel ,2005 .**

[52]- **DHW direction de l'hydraulique de wilaya Jijel 2005.**

[53]- **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 Seybouse nord-est Algérien. Thèse de doctorat, univ de Franche comité, U.F.R des sciences et techniques, 235 P.

[54]- **Office National de Météorologie (ONM),** station Jijel aéroport.

[55]- **Logicielle GOOGLE EARTH. 2011.**

[56]- **Quémerais, B., Cossa, D. 1997.** Procedures for sampling and analysis of mercury in natural water. Rapport scientifique et technique, 31 E. Centre ST Lourent.

[57]- **Audry, S. 2003.** Bilan géochimique du transport des éléments traces métalliques dans le système fluvial anthropisé Lot Garonne Gironde. Thèse de doctorat, univ de BourdeauxI. 441 P.

[58]- **Bentir, M. 1997.** Bulletin International de l'eau et de l'environnement. No 14, PP 23-23.



[59]- Senesi, GS; Baldassare, G ; Senesi , N ; Radina, B.1999. Trace element inputs into soils by anthropogenic activities and implications for human health. Chemosphere6 , volume 39, PP 343-377.

[60]- Direction des services de la wilaya de Jijel (D.S.A). 2007. Bilan de production de la campagne agricole 2006/2007.

[61]- Cuita, A. 2003. Impact de la bioturbation des sédiments sur les transferts et la biodisponibilité des métaux : Approches expérimentales. Thèse de doctorat, univ de Bordeaux I. 437 P.

[62]- Bourrelier, R.J., Berthelin, J. 1998. Contamination des sols par les éléments en traces : Les risques et leurs gestions. Rapport N° 42 de l'académie des sciences. Paris, France : Lavoisier. Tec. Doc. 440 P.

[63]- Emsley, J. 1991. The elements. Oxford University press.PP 23-23.

[64]- Meeus, V.K., Scokart, P.O., Deborger, R. 1989. Revue de l'agriculture. 4(39): 801-816.

[65]- Godin, P., 1983. Les sources de pollution des sols : essai de quantification des reprises dus aux éléments traces. Sci. Sol, n°2. PP 73-87.

[66]- Afalfiz, A., Guy, B., Semourd, B. 1998. Etude métallogénique des indices minéralisés à Fe, Pb, Zn, Cu, Ba, Ag dans les métacarbonates du socle métamorphique de la région de Taher ( Jijel) Algérie. Ministre de mines algérienne.

[67]- Gray, D.A., Mather, J. D., Harrison, I. B. 1974. Review of groundwater pollution from waste disposalsite in England and Wales, with provisional guidelines for future site selection. Journal: Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology - Q J ENG GEOL HYDROGEOL , vol. 38, no. 2, PP 222-222.

[68]- Rugge, K., Bjerg, P.L., Christensen, T.H. 1995. Distribution of organic compounds from municipal solid waste in the grounwater down gradient of lanfill (Grindsted, Danemark). Envir. Sc. Technol., 39, PP 1395-1395.

[69]- **Flemming, C. and Trevors, T. 1989.** Copper toxicity and chemistry in the environment: A review. *Water Air and Soil Pollution*, volume 44, PP158-158.

[70]- **O'Donnel, J., Kaplan, B., Allen, H. 1985.** Bioavailability of trace metals in natural waters. 7th Symposium: Aquatic Toxicology and Hazard assessment, Philadelphia, ASTM.

[71]- **Brooks, R.R. 1998.** Biogeochemistry and hyperaccumulators. In: Brooks, late heavy metals. CABI publishing Wallingford, PP 95-95.

**Résultats des teneurs en zinc total :**

<b>Site (forage)</b>	<b>La première répétition</b>	<b>La deuxième répétition</b>
<b>ON 02</b>	4.352	3.793
<b>ON 23</b>	6.762	1.92
<b>ON 24</b>	5.963+	1.6503
<b>ON 27</b>	1.6572	1.8836
<b>ON 33</b>	4.564	0.9302
<b>ON 34</b>	1.2963	2.461
<b>ON 35</b>	3.84	0.7005

**Résultats des teneurs en zinc dissous :**

<b>Site (forage)</b>	<b>La première répétition</b>	<b>La deuxième répétition</b>
<b>ON 02</b>	1.4711	1.667
<b>ON 23</b>	5.239	1.161
<b>ON 24</b>	1.4536	0.7231
<b>ON 27</b>	1.0615	0.2095
<b>ON 33</b>	1.1539	0.7207
<b>ON 34</b>	1.3163	0.4587
<b>ON 35</b>	0.2029	0.0195

**Résultats des teneurs en cuivre total :**

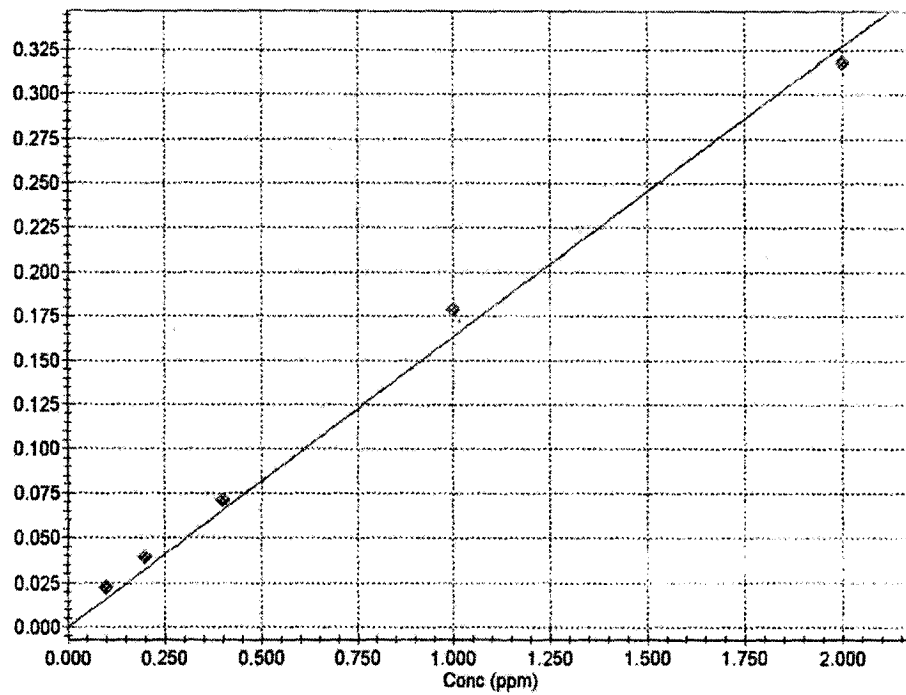
<b>Site (forage)</b>	<b>La première observation</b>	<b>La deuxième observation</b>
<b>ON 02</b>	0.0137	0.0129
<b>ON 23</b>	0.0286	0.0183
<b>ON 24</b>	0.0261	0.0183
<b>ON 27</b>	0.0286	0.0280
<b>ON 33</b>	0.0137	0.0183
<b>ON 34</b>	0.0298	0.0183
<b>ON 35</b>	0.0211	0.0216

**Résultats des teneurs en cuivre dissous :**

<b>Site (forage)</b>	<b>La première observation</b>	<b>La deuxième observation</b>
<b>ON 02</b>	0.0112	0.0011
<b>ON 23</b>	0.0261	0.0119
<b>ON 24</b>	0.0236	0.0032
<b>ON 27</b>	0.0124	0.0205
<b>ON 33</b>	0.0037	0.0011
<b>ON 34</b>	0.0274	0.0032
<b>ON 35</b>	0.0000	0.0097

## ❖ Courbe d'étalonnage (2) du Zinc par la SAA

Calibration Curve(Element:Zn:Flame C#:01)



$$\text{Abs}=0.163729\text{Conc}+ 0 \quad r=0.9984$$

<u>CONC</u>
0.1000
0.2000
0.4000
1.0000
2.0000

<u>ABS</u>
0.0229
0.0395
0.0711
0.1788
0.3178

NOM	Bouazizi	Boudina
PRENOM	Besma	Soumia

**La pollution métallique par le cuivre et le zinc dans le bassin versant de l'oued Nil (Jijel)**

**RESUME**

Le bassin versant de l'oued Nil, situé dans le sud-est de Jijel, est marquée par une forte activité agricole, avec plus de 75 % des terres cultivées. Pour évaluer l'impact des pratiques agricoles sur la pollution métallique des eaux souterraines, des échantillons d'eau ont été prélevés à partir de 7 forages pour constater les concentrations totales et dissoutes en zinc et en cuivre. Nos résultats montrent des concentrations en zinc total supérieures à les normes, mais des faible teneurs en zinc dissout et en cuivre sous ses deux forme ont été détecté.

La teneur élevée en zinc totale observée est probablement due aux épandages des produits phytosanitaires ainsi que les divers effluents d'élevages, engendrant par conséquence une contamination préoccupante de ces sources d'eau. A cette source diffuse, il s'ajoute les risques des lixiviats de l'ancienne décharge publique située en aval du oued Nil, des anciennes mines et la probable contribution de la minéralisation du fond pédogéochimique de la région dans cette contamination. Enfin, on peut conclure que les résultats obtenus reflètent fidèlement les risques sanitaires aux quels la population jijelienne est exposée suite à la consommation de ces eaux contaminées. Donc il est recommandé de mettre en place les moyens et les techniques nécessaires pour lutter contre cette contamination.

**Mots clés :** Eléments traces métallique, bassin versant agricole, la pollution métallique, zinc, cuivre.

**Abstract**

The catchment's of the river Nile, located in the southeast of Jijel, is marked by a strong agricultural activity, with over 75 % of cultivated land. To assess the impact of agricultural practices on trace metals contamination of groundwater, water samples were collected from 7 wells to see the total and dissolved concentrations of zinc and copper. Our results show total zinc concentrations above the standards, but low levels of dissolved zinc and copper in its two forms were detected. The high content of total zinc observed is probably due to spraying of pesticides and the various livestock manure contamination caused by a worrying consequence of these water sources. At this point source, it adds the risk of leachate from the former landfill located downstream of the river Nile, the old mines and the likely contribution of mineralization of soil geochemical background of the region in this contamination. Finally, we can conclude that the results accurately reflect the health risks to which jijelienne population is exposed following the consumption of contaminated water. So it is recommended to master in place the means and techniques necessary to fight against this contamination.

**Keywords:** trace metals, agricultural catchment, pollution, metal, zinc, copper.

**ملخص**

يقع حوض واد النيل في الجنوب الشرقي لولاية جيجل، وهي منطقة فلاحية بامتياز حيث أن 75% من الأراضي مزروعة. لمعرفة تأثير الأنشطة الفلاحية على تلوث المياه الجوفية بالمعادن، قمنا بأخذ عينات من الماء من سبعة آبار مختلفة بهدف قياس تركيز الزنك و النحاس الكلي و المنحل. النتائج المتحصل عليها أظهرت أن تركيز الزنك الكلي مرتفع عن المعايير المعتمدة، أما بالنسبة للزنك المنحل و النحاس بنوعيه فتركيزها كان منخفضا. إن ارتفاع تركيز الزنك الكلي يرجع إلى استعمال المبيدات و المواد الكيميائية في الفلاحة و المخلفات الحيوانية مما أدى إلى تلوث مقلق لهذا المصدر المائي. بالإضافة لتأثير الزايل العمومية القديمة الموجودة غي أسفل واد النيل ومنجم الشحنة القديم وأخيرا المعادن الناتجة عن تحلل الصخور و التي تساهم أيضا في هذا التلوث. النتائج المتحصل عليها تبين لنا مدى الأخطار الصحية التي يتعرض لها السكان جرّاء استهلاك هذه المياه الملوثة.

الكلمات المفتاحية: المعادن، حوض زراعي، التلوث، الزنك، النحاس.