

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique

pa. Eco. 07/12

Université de Jijel
Faculté des Sciences Exactes et des
Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie Animale et Végétale



جامعة جيجل
كلية العلوم الدقيقة
و علوم الطبيعة و الحياة
قسم البيولوجيا الحيوانية و النباتية

Mémoire de fin d'études

08
08

En vue de l'obtention du diplôme : Ingénieur d'état en Ecologie Végétale et Environnement

Option : Pathologie des écosystèmes

Thème

*Etude de la contamination métallique
des eaux souterraines du bassin versant de l'oued Nil
et leur impact sur la santé.*

Membres de Jury:

- ❖ Président : M^r BELBACHA S.
- ❖ Examinatrice : M^{me} KHALED-KHODJA S.
- ❖ Encadreur : M^{me} BALLI N.

Présenté par :

- ❖ ABBAS Nadjiba
- ❖ BOULADJOUL Nawel

Numéro d'ordre: /

Session: Juin 2012



République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique

Université de Jijel
Faculté des Sciences Exactes et des
Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie Animale et Végétale



جامعة جيجل
كلية العلوم الدقيقة
و علوم الطبيعة و الحياة
قسم البيولوجيا الحيوانية و النباتية

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : Ingénieur d'état en Ecologie Végétale et Environnement

Option : Pathologie des écosystèmes

Thème

*Etude de la contamination métallique
des eaux souterraines du bassin versant de l'oued Nil
et leur impact sur la santé.*

Membres de Jury:

- ❖ Président : M^r BELBACHA S.
- ❖ Examinatrice : M^{me} KHALED-KHODJA S.
- ❖ Encadreur : M^{me} BALLI N.

Présenté par :

- ❖ ABBAS Nadjiba
- ❖ BOULADJOUL Nawel

Session: Juin 2012

Numéro d'ordre: /....

REMERCIEMENT

Tous nos remerciements vont tout premièrement à Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous adonnées pour terminer ce mémoire.

Un immense respect et merci à Madame BALLI Nassima pour qui a encadré notre mémoire et pour sa disponibilité infailible à nos égard, ses aides inappréciables, son soutien

moral. Qu'il en soit grandement remercié.

J'adresse également mes sincères remerciements aux membres de jury qui ont accepté d'évaluer ce modeste travail à savoir Monsieur BELBACHA Said, pour l'honneur qu'il nos a

fait en président le jury, et un remerciement très vivement au Madame KHALED – KHODJA

Soumia l'examinatrice du notre jury pour avoir accepter d'évaluer ce travail et porter un

éclairage différent.

Nos remerciements vont ensuite aux Monsieur BOUSSOUF, et l'ensemble du personale de laboratoires des analyses BOUROIUED pour leurs aides durant la période de réalisation de ce travail.

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

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail, ce fruit de longue baleine
tout d'abord :

À la bougie qui a éclairé mon chemin de puis ma naissance,
à celle dont j'ai prononcé le premier mot, source de ma vie ma *Mère*.

À mon *Père*, pour son soutien moral et financier, son courage
et son dévouement, que je n'oublierai jamais.

À mes frères, *Khalil*, *Nadjib*, *Adel*, *Moussa*, et surtout mon suprême
proverbial, grand frère *Brahmed fauzi*.

À ma sœur *Loubna*, *Moufida* et son mari *Nizar-Edine* et leur enfants
Nahya, *Aden*, et un grand bisou pour la petite *Moufik*.

À toute la famille *Abbas* et *Ayad*, sans oublier ma chère
amie *Zineb* qui est toujours présente avec ses conseils, ses sacrifices
pendant tout mon cycle d'étude.

À mes collègues de notre option pathologie des écosystèmes et de
l'option système forestier promotion *2012*.

Enfin, à tous ceux que j'*aime*

MADINA

Dédicaces

Après un long trajet, enfin je suis en train de présenter ce
modeste travail grâce à :

Allah qui m'indique le chemin de succès.

Avec toute ma reconnaissance, ma tendresse et bien sur avec mon grand amour je
dédie ce travail :

A Celle qui a consacré sa vie et souffert pour veiller à mon bien être, à la source de
ma réussite, ma chère mère *Wadda* Que je l'aime très forte et Que le dieu la
garde.

A mon Père qui consacre ses efforts et ses conseils pour moi,
et qui m'a toujours poussé Vers l'optimisateurs *Mouhammad*.

A mes chères sœurs : *Hamida, Samira, Mounia, Koumia et leurs familles et à
Mayat.*

A mes chères frères : *Ali, Bassem et Rabia*

A mes belles sœurs : *Ajasma, Nadia et Nadia*

Mes adorables petits neveux et nièces.

A ma très chère *grandie mère*

A toutes la famille *BOULE DJOUIC et MERGIPT*

A tout mes chères amies surtout : *Nassir*

A ma *binôme : Wadda*

Et je n'oublie pas tout ce qui m'aide avec son soutien moral
qu'il en soit grandement remercié.

Et a tous mes collègues de promotion 2012 Biologie.

III-2. Evaluation de l'exposition aux ETM par ingestion des eaux des forages pour la santé	32
III-3. Analyse du profil métallique	33
III-3-1. Echantillonnage	33
III-3-2. Prélèvement du sang et urines	33
III-3-3. Préparation des échantillons	34
III-4. Evaluation du statut du stress oxydant	34
III-4-1. Dosage du glutathion : Le biomarqueur sanguin de stress oxydant	34
IV .La méthode d'analyse des ETM	35
IV-1.Principe la spectrométrie d'absorption atomique	35
Chapitre III. Résultats et discussion	
I. Résultats d'analyse chimique	36
I-1.Concentration du cadmium dans les eaux des forages	36
I-2. Concentration du plomb dans les eaux des forages	38
I-3. Comparaison des résultats obtenus avec les normes et les critères de qualité pour les eaux souterraines	40
II. Résultats de l'enquête exécutée	41
II-1.Estimation de l'exposition aux ETM par ingestion d'eau des forages de l'oued Nil	42
II-2.Résultats de dosage des ETM dans le sang	44
II-2-1.Concentrations en cadmium	44
II-2-2. Concentrations en plomb....	45
II-3.Résultats de dosage des ETM dans les urines	46
II-3-1. Concentrations en cadmium.....	46
II-3-1.Concentrations en plomb...	47
III. Résultats de dosage de glutathion	47
IV. Discussion.....	48
Conclusion	51
Références bibliographiques	52
Annexes	I

Liste des figures

Figure 1. Le cycle de l'eau.....	03
Figure 2. Bassin versant.....	05
Figure 3. Représentation des nappes captives et nappes libres	06
Figure 4. Type des forages	07
Figure 5. Evolution de la consommation mondiale de l'eau	07
Figure 6. Répartition des métaux dans l'organisme humain	16
Figure 7. Un déséquilibre entre les pro- oxydantes et les anti- oxydantes	21
Figure 8. Situation géographique de la willaya de Jijel	22
Figure 9. Carte du réseau hydrographique de la willaya de Jijel	23
Figure 10. Image satellitaire de l'oued Nil	24
Figure 11. Image satellitaire montrant la localisation des forages étudiés	24
Figure 12. Variations des températures moyennes mensuelles de la période (1999-2011)	26
Figure 13. Variations de l'humidité moyennes de la période (1999-2009)	27
Figure 14. Variation des précipitations moyennes mensuelles de la période (1999-2012)	28
Figure 15. Spectromètre atomique SAA6200	35
Figure 16. Teneurs total du Cadmium contenues dans les eaux des sites retenus	36
Figure 17. Teneurs dissous du Cadmium contenues dans les eaux des sites retenus	37
Figure 18. Teneurs total du plomb contenues dans les eaux des sites retenus	38
Figure 19. Teneurs dissous du plomb contenues dans les eaux des sites retenus	39
Figure 20. Evaluation des doses d'exposition par ingestion d'eau des forages de l'oued Nil..	43

Liste des tableaux

Tableau 1. Répartition des réserves en eau de la planète	03
Tableau 2. Valeurs guides des métaux lourds	09
Tableau 3. Critères de qualité pour les eaux souterraines	09
Tableau 4. Températures moyennes mensuelles au niveau de la station de Jijel aéroport (1999-2011)..	25
Tableau 5. Humidités moyennes mensuelles au niveau de la station de Jijel aéroport (1999-2011)	26
Tableau 6. Précipitations moyennes mensuelles au niveau la station de Jijel aéroport (1999-2011)	27
Tableau 7. Les nappes de la wilaya de Jijel	28
Tableau 8. Poids corporels et consommations d'eau estimées par classes d'âge pour la population en général	32
Tableau 9. Teneurs totales du cadmium contenu dans les eaux des sites retenus	36
Tableau 10. Teneurs dissous du cadmium contenu dans les eaux des sites retenus	37
Tableau 11. Teneurs totales du plomb contenu dans les eaux des sites retenus	38
Tableau 12. Teneurs dissous du plomb contenu dans les eaux des sites retenus	39
Tableau 13. Concentrations du cadmium obtenues par rapport aux normes de qualité pour les eaux souterraines de consommation	40
Tableau 14. Concentrations du plomb obtenues par rapport aux normes de qualité pour les eaux souterraines de consommation.....	40
Tableau 15. Evaluation des caractéristiques des participants dans l'enquête exécutée	41
Tableau 16. Evaluation des doses d'exposition par ingestion d'eau des forages de l'oued Nil	42
Tableau 17. Doses d'exposition de référence par voie orale pour les métaux toxiques.....	42
Tableau 18. Concentrations moyennes du cadmium \pm écarts types mesurées dans le sang	44
Tableau 19. Concentrations moyennes du plomb \pm écarts types mesurées dans le sang	45
Tableau 20. Concentrations moyennes du cadmium \pm écarts types mesurées dans les urines	46
Tableau 21. Concentrations moyennes du plomb \pm écarts types mesurées dans les urines	47
Tableau 22. Variation des concentrations de GSH sanguin	47

Liste des abréviations

ABS	➤ Absorbance
ADN	➤ Acide désoxyribonucléique
Ag	➤ Argent
ANRH	➤ Agence National des Réserves Hydriques
As	➤ Arsenic
Cd	➤ Cadmium
Ce	➤ Concentration de métal dans l'eau potable (mg métal/L)
CEE	➤ Communauté Economique Européenne
CIRC	➤ Centre international de recherche sur le cancer
Co	➤ Cobalt
Cr	➤ Chrome
Cu	➤ Cuivre
D_e	➤ Dose d'exposition par ingestion d'eau potable (mg métal/kg/jour)
DMA	➤ Dose maximale admissible
DO	➤ Densité optique
DPSB	➤ Direction de planification est suivi budgétaire
DTNB	➤ Acide 5, 5'-Dithiobis 2-nitrobenzoïque
EDTA	➤ Acide tétra-acétique éthylène diamine
EPA	➤ Environmental Protection Agency
ETM	➤ Eléments traces métalliques
Fe	➤ Fer
GSH	➤ Glutathion réduit
H	➤ Humidité
Hg	➤ Mercure
HNO₃	➤ Acide nitrique
ISO	➤ International organization for standardization
Kg	➤ Kilogramme
L	➤ Litre
Max	➤ Maximum
MENV	➤ Ministère de l'Environnement
Mg	➤ Milligramme
Min	➤ Minimum
MM	➤ Milli Mol
Mo	➤ Molybdène
MSSS	➤ Ministère de la santé et des services sociaux
Ni	➤ Nickel
OMS	➤ Organisation mondiale de la santé
ON	➤ Oued Nil
ONM	➤ Office national de météorologie
P	➤ Poids corporel
Pb	➤ Plomb

PbCl₂	➤ Chlorures
PbClO₃⁻	➤ Crabonate
pH	➤ Potentiel hydrogène
Pr	➤ Précipitation
Q_e	➤ Volume d'eau potable ingéré en fonction de la classe d'âge (L/jour)
SAA	➤ Spectrophotométrie d'absorption atomique
Se	➤ Sélénium
ROS	➤ Espece réactif d'oxygène
T	➤ Température
TCA	➤ Acide trichloracétique
TNB	➤ Acide thionitrobenzoïque
V	➤ Volontaire
Zn	➤ Zinc
Z	➤ Numéro atomique
USPA	➤ United States Environmental Protection Agency



Introduction

Introduction

De par ses propriétés et son étendue (environ deux tiers de la surface de la Terre), l'eau joue un rôle primordial et irremplaçable dans le développement de la vie humaine, animale ou végétale, ainsi que dans l'évolution des sociétés (**Coquery *et al*, 2004**).

En effet, selon l'organisation mondiale de la santé, l'eau souillée est l'agent de transmission principal de 80 % des maladies. Elle constitue le principal véhicule des effluents d'origines divers (fertilisants, métaux lourds, pesticides), des microorganismes et des molécules biologiquement actives. Les éléments en traces métalliques (ETM), incluant des métaux et des métalloïdes, sont naturellement présents dans l'eau à des concentrations très faibles ces derniers peuvent constituer un sérieux problème de santé publique du fait de leur grande toxicité et de leur caractère bioaccumulatif. Par ailleurs, le cadmium et le plomb font partie des trois métaux classés comme polluants prioritaires de l'eau par la Communauté Economique Européenne (CEE) et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Une attention toute particulière est actuellement portée à la contamination des sources d'eau par ces deux métaux. En cela, ces deux métaux représentent des excellents modèles pour l'étude de l'incidence des autres métaux sur la santé et l'environnement (**Gardas, 2000**).

Aujourd'hui, la contamination de l'eau par les ETM présente des risques de préoccupation prioritaire qu'il s'agisse de risques aigus ou de risques chroniques avec la problématique difficile des conséquences pour la santé humaine des faibles doses répétées de toxiques cumulatifs ou additifs (**WHO, 1992**)

La situation actuelle est déjà inquiétante, dans l'ensemble du monde, il y'a 2,3 millions d'habitants atteints de maladies liées à l'eau (**WHO, 1992 ; Nriagu *et al*, 1988**). Les maladies hydriques également appelées maladies «de l'eau sale» sont le résultat de la contamination de l'eau notamment par les ETM, pesticides, engrais, déchets humains, animaux et déchets chimiques (**UNESCO, 2003**).

Dans notre travail, nous nous sommes focalisées sur l'étude de la contamination métallique des eaux potables par le plomb et le cadmium.

La première partie de notre étude est consacrée à l'analyse chimique des eaux de l'oued Nil en vu d'évaluer leur éventuelle contamination.

La deuxième partie a trié à une évaluation préliminaire des risques sanitaires. Pour se faire trois points ont été pris en considération:

- Réalisation d'une enquête sous forme de questionnaire chez la population exposée aux ETM par ingestion d'eau des forages de l'oued Nil.
- Dosages des concentrations en plomb et en cadmium dans le sang et les urines chez la population cible.
- Evaluation d'un paramètre représentatif: glutathion.

Enfin, le travail se termine par une conclusion générale et quelque persepectives.

Synthèse bibliographique

I. Ressources hydriques naturelles

Essentielle au développement de la vie, la présence de l'eau a toujours été une condition fondamentale à l'implantation des communautés humaines (Anctil *et al*, 2005).

Près de 70 % de la surface de la terre est recouverte d'eau; la majorité étant stockée dans les océans et les mers (97,4 %), viennent ensuite la glace et la neige (1.98 %), les eaux souterraines et les eaux de surfaces représentent le reste, toute source d'eau douce (tableau 1) (Anctil *et al*, 2005).

Tableau 1. Répartition des réserves en eau de la planète (Gérard, 1999).

Stocks totaux d'eau	1,4 milliard de km ³	
océans, mers	1,35 milliard de km ³	97,4 %
Glaces	27,5 millions de km ³	1.98 %
eaux souterraines	8,2 millions de km ³	0,59 %
lacs, rivières	207 000 km ³	0,015 %
humidité du sol	70 000 km ³	0,005 %
eau des cellules vivantes	1100 km ³	0.0001%
humidité de l'air	13 000 km ³	0,001 %

I-1. Le cycle de l'eau dans la nature

En ce qui concerne le mouvement de l'eau, on peut considérer la terre comme un système à circuit fermé (figure 1) (Chatain, 2004).

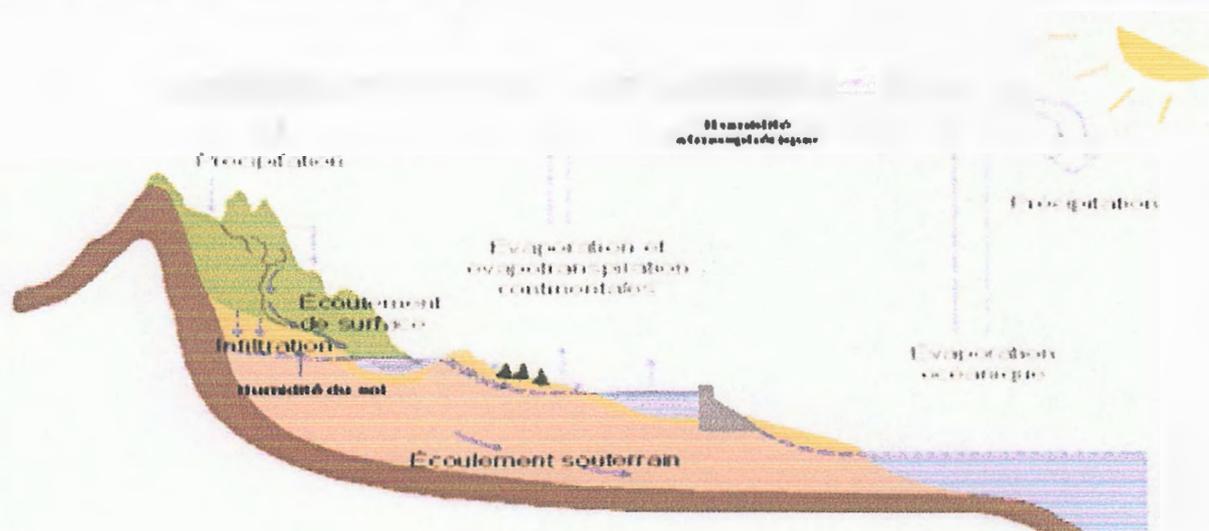


Figure 1. Le cycle de l'eau (Chatain, 2004).

Le moteur de ce cycle est le soleil : grâce à l'énergie thermique qui il rayonne, qui entraîne la libération de l'eau des océans vers l'atmosphère (Evaporation). Cette vapeur se déplace ensuite au gré des mouvements des masses d'air et se condense pour former les nuages et engendrer de neige ou de pluie (précipitation) permettent à l'eau de retourner au sol, une partie de ces eaux s'écoulent et s'infiltrent dans le sol pour former les eaux souterraines, l'autre partie ruisselle en surface pour former les eaux de surface (Defranceschiki, 1996).

I-2. Eaux naturelles : Origines et caractéristiques générales

L'eau de la planète est présente naturellement dans les différents réservoirs de l'hydrosphère (Audry, 2003). Les réserves disponibles d'eau douce sont présentes essentiellement sous forme de gelée dans les glaciers et le reste est principalement stocké dans les nappes et les eaux de surfaces (barrages, lacs, rivières) (Gélard, 2005).

I-2-1. Eaux de surface

Les eaux de surface ont deux origines : les eaux de pluies et les eaux souterraines. L'eau de pluie qui ne pénètre pas dans le sol reste à sa surface. Elle peut s'écouler et former les cours d'eau, ou rester stockée lorsqu'un obstacle s'oppose à l'écoulement (lacs, mares, étangs,...). Les eaux souterraines permettent la formation de sources, à l'origine de cours d'eau ou d'étendue aquatique (Boeglin, 1999).

Les cours d'eau sont organisés en un réseau hydrographique permet le drainage des unités géographiques que l'on appelle : bassins versants (Tardy, 1986).

I-2-1-1. Bassin versant

C'est une entité topographique et hydrographique dans laquelle se produisent des entrées d'eau sous la forme de précipitations, comme le montre la figure 2 (Bravard, 2002).

En amont, sa limite est celle de la ligne de partage des eaux (ligne de crête) qui passe par les différents sommets et qui détermine la direction de l'écoulement des eaux de surface. En aval, sa limite est définie par son exutoire ; qui est le point du réseau hydrographique par lequel passent toutes les eaux de ruissellement drainées par le bassin (Meybeck, 1987).

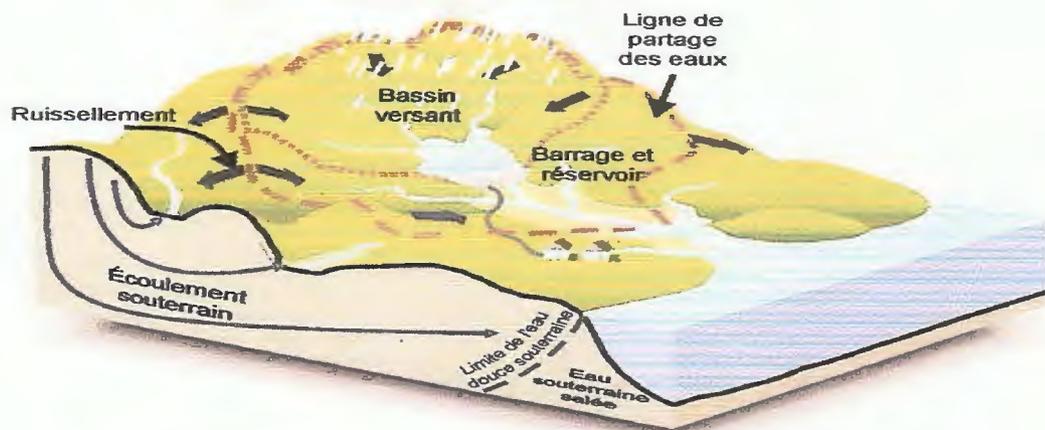


Figure 2. Bassin versant (Tardy, 1986).

Le bassin versant est donc un système (ou écosystème) qui inclut le réseau hydrographique superficiel, les eaux souterraines et les milieux humides (marais, étangs...) (Meybeck, 1987).

I-2-2. Eaux souterraines ou nappes phréatiques

Se localisent dans des formations appelées aquifères. Un aquifère (acque = eau ; fera = je porte) est une formation hydrogéologique perméable permettant l'écoulement significatif d'une nappe d'eau souterraine et le captage des quantités d'eau appréciables, par des moyens économiques. C'est un système hydrologique et hydrodynamique (Castany, 1979).

I-2-2-1. Type des eaux souterraines

Selon la nature géologique des terrains, il existe trois types différents d'aquifères : (Blum, 2004).

a- les aquifères sédimentaires

Composés de roches sédimentaires (calcaire, craie, sable, grés).

b- les nappes alluviales

Formées de sables et de graviers, ces aquifères ont la particularité d'entretenir des relations avec les cours d'eau (Blum, 2004).

c- les nappes des roches cristallines (granite, gneiss)

Dans ces systèmes, l'eau est le plus souvent contenue dans les fissures des roches (Blum, 2004).

C'est différentes nappes peuvent être libres ou captives selon qu'elles sont ou non recouvertes d'une couche imperméable (Collin, 2004).

- ✓ **Nappe libre** formation géologique perméable et saturée d'eau.
- ✓ **Nappe captive** ou Artésienne, formation confinée entre deux couches imperméables (figure 3) (Collin, 2004).



Figure 3. Représentation des nappes captives et nappes libres (Collin, 2004).

I-2-2-2. Sources d'alimentation des eaux souterraines

Ce sont principalement les précipitations qui alimentent les eaux souterraines. Mais les pluies ne sont pas disponibles seulement pour la recharge des nappes. En effet, une part, des précipitations regagne l'atmosphère par évapotranspiration. La différence de hauteur d'eau entre la pluie et l'évapotranspiration est appelée **pluie efficace** (Blum, 2004).

Une partie de cette dernière s'infiltré dans le sol et recharge la nappe. La partie restante alimentera par ruissellement les eaux de surface (rivières, lacs, retenues) (Blum, 2004).

➤ 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 (Collin, 2004).

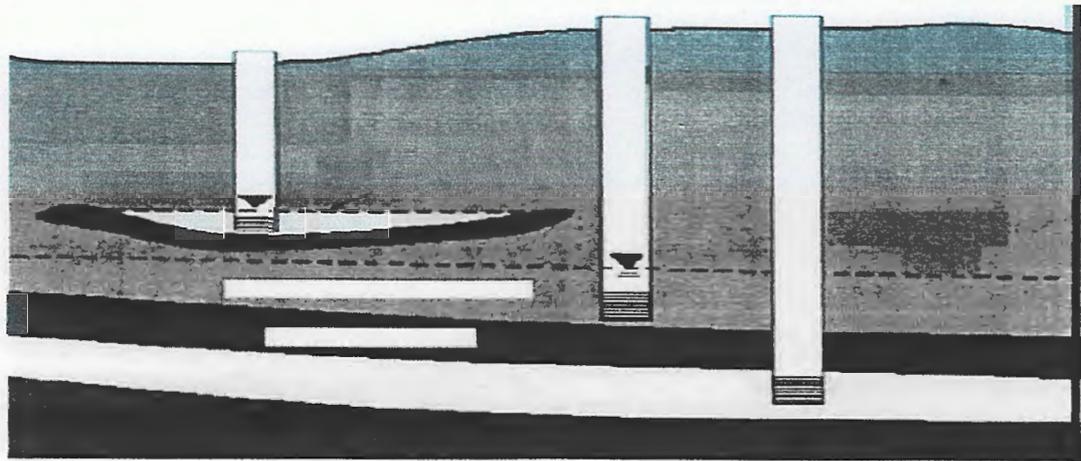


Figure 4. Types des forages (Collin , 2004).

I-3. Evolution de l'utilisation mondiale d'eau

L'eau est vitale pour le fonctionnement des écosystèmes terrestres, et leur consommation mondiale est élevée de presque dix fois depuis 1900 dans la plupart des activités humaines (Figure 5) (Leemans *et al*, 2002).

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. Les surfaces irriguées ont environ doublé dans le monde depuis 1960 (Dussart, 1999).

L'industrie est responsable d'environ 20 % de la consommation mondiale d'eau douce, et cette consommation industrielle augmente beaucoup depuis les années 1950. L'eau est en effet essentielle pour beaucoup de processus industriels, elle sert à refroidir, laver...etc (Dussart, 1999).

La consommation domestique (pour la boisson, la cuisine, l'hygiène personnelle...) représente 8 à 10 % de la consommation totale sur la planète (Dussart, 1999).

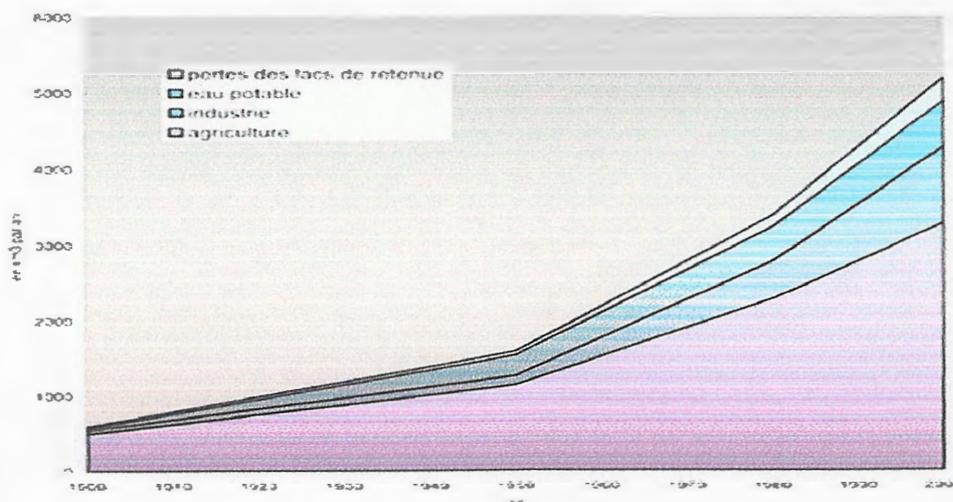


Figure 5. Evolution de la consommation mondiale de l'eau (Dussart, 1999).

I-4. Les aspects réglementaires

I-4-1. Normes de qualité de l'eau

Se sont des normes qui visent à s'assurer que l'eau de boisson est exempte de microorganismes pathogènes et que les composés chimiques toxiques susceptibles d'être présents dans l'eau se maintiennent à des concentrations qui ne présentent pas des risques pour la santé publique ; c'est la garantie d'une eau de qualité (Smets, 2005).

Une eau destinée à la consommation humaine est considérée comme potable si elle répond à des exigences de qualité bien définies sur le plan de ses caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques qui ne doivent pas porter atteinte à la santé du consommateur , qu'elle soit distribuée au robinet ou en bouteille (Boeglin, 1999).

I-4-2. Les valeurs guides de l'OMS

L'eau de distribution publique est définie par des normes nationales découlant des travaux de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et de directives européennes (Boeglin, 1999).

L'OMS fixe, via des recommandations, un cadre pour la sécurité sanitaire des eaux (valeur guide) ; une valeur guide est une estimation de la concentration d'une substance dans l'eau de boisson qui ne présente aucun risque pour la santé d'une personne qui consommerait cette eau toute sa vie (Ross, 1999).

En générale, 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, en ce qui concerne, des valeurs guides ont été établis pour de nombreux constituants chimiques de l'eau de boisson y compris les métaux lourds (tableau 2) (OMS, 2004).

Tableau 2. Valeurs guides des métaux lourds (OMS, 2004).

Constituants chimiques	Recommandations OMS
As	10µg/l
Cd	3,0µg/l
Cr	50µg/l (chrome total)
Cu	2,0 mg/l
Hg	1,0µg/l
Ni	20µg/l
Pb	10µg /l
Se	10µg /l
Zn	3 mg/l

I-4-3. Critères de qualité pour les eaux souterraines

Le tableau 3 représente les critères de qualité pour les eaux souterraines selon la loi canadienne (MENV, 1998).

Tableau 3. Critères de qualité pour les eaux souterraines (MENV, 1998).

Métaux	Limites analytiques (µg/l)	Critères de qualité (µg/l)	
		Eau de consommation	Eau souterraine
Arsenic	3	10	14
Baryum	35	1000	5300
Cadmium	1	5	2.1
Chrome	35	50	-
Cuivre	3	1000	7.3
Manganèse	3	50	-
Mercure	0.3	1	0.13
Molybdène	35	70	2000
Nickel	13	20	790
Plomb	1	10	34
Sélénium	3	10	20
Zinc	3	5000	65

II. Rappels sur les Eléments Traces Métalliques

Les Eléments Traces Métalliques ou ETM ont été et sont encore utilisés dans de très nombreuses applications (industrielles, médicales, agricoles...). Ces usages ont pu entraîner le relargage dans l'environnement d'une partie des quantités utilisées de certains de ces éléments (Miquel, 2001).

II-1. Définition et caractéristiques des ETM

II-1-1. Définition

La notion « d'Eléments Traces Métalliques » ou **ETM** est employée pour l'ensemble des métaux ayant une masse atomique élevée, celle-ci se substitue peu à peu à celle de « métaux lourds » (Ramade, 1993).

En général, on appelle métaux lourds les éléments métalliques naturels qui peuvent présenter à la fois une importante persistance dans le milieu naturel et dont :

- ✓ la masse volumique dépasse 5g/cm^3 .
- ✓ le numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du Sodium ($Z=11$) (Baize, 1997).

Néanmoins, certains métaux toxiques ne sont pas particulièrement lourds (comme le zinc) alors que certains éléments toxiques ne sont pas tous des métaux (comme l'arsenic) qui est un métalloïde. Ainsi, pour toutes ces raisons, la communauté scientifique préfère utiliser le terme **ETM** plutôt que métaux lourds (Baize, 1997).

II-1-2. Les caractéristiques des ETM

Le terme générique d'«Eléments Traces Métalliques » est donc souvent employé pour désigner les métaux et métalloïdes associés à une contamination et un potentiel toxique et écotoxique (Duffus, 2001).

II-1-2-1. Un métal

Corps simple caractérisé par un éclat particulier dit <<éclat métallique>>, une aptitude à la déformation, une tendance marquée à former des cations, et conduisant bien en général la chaleur et l'électricité (Duval *et al*, 1978).

Un métal est une matière, issu le plus souvent d'un minerais ou d'un autre métal, ayant des caractéristiques de dureté, et malléabilité, se combinant ainsi aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisables dans l'industrie ... (Duval *et al*, 1978).

II-1-2-2. Un métalloïde

Un métalloïde est un corps simple susceptible de libérer des anions simples.

Un métalloïde est un élément qui combine certaines caractéristiques du métal et d'autres caractéristiques opposées (l'absence de conductivité électrique par exemple) (Duval *et al*, 1978).

D'une manière générale, Les ETM présentent les caractéristiques suivantes :

- ✓ Ils sont généralement présents en quantités faibles (en concentration inférieure à 1% en moyenne). On dit que les métaux sont présents en « quantités traces» car ils représentent 0,6 % du total des constituants de la croûte terrestre (Pagotto, 1999 ; Chiffolleau, 2001 ; Martignon, 2007).
- ✓ Non biodégradables et cumulatifs (pas de dégradation par les organismes vivants), ce qui conduit à un processus d'assimilation, d'accumulation par individu et de concentration entre individus (Picot, 1999).
- ✓ La toxicité des ETM dépend de leurs teneurs dans le milieu, mais aussi de leurs formes chimiques, qui sont elles-mêmes conditionnées par les caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques du milieu (Panfili, 2004).
- ✓

II -2. Propriétés physico-chimiques des ETM

II-2-1. La solubilité

La solubilité est la quantité maximale dissoute d'un composé dans l'eau à une température donnée (Ballirini *et al*, 1998). La solubilité d'un métal indique sa tendance à la mobilisation par lessivage ou par ruissellement (Jumarie *et al*, 2001).

Les métaux sont plus ou moins mobiles, plus ou moins solubles. Dans l'eau, ils sont présents sous forme d'oxydes ou de sels, selon les métaux d'origine (Bodek *et al*, 1988 cité par Pichard, 2003). D'une manière générale, la plupart des sels sont solubles, et c'est sous cette forme que les métaux contaminent l'environnement aquatique (Lauglin *et al*, 1999 ; Miquel, 2001).

II-2-2. La stabilité

Contrairement aux contaminants organiques, les métaux sont indéfiniment stables et ne peuvent être dégradés biologiquement ou chimiquement dans l'environnement (**Desbœuf, 2004**). Une des conséquences les plus sérieuses de la persistance des métaux est leur accumulation dans les chaînes alimentaires. Au bout de ces chaînes, les métaux peuvent atteindre des concentrations qui sont supérieures de plusieurs puissances de dizaines à celles trouvées dans l'eau ou dans l'air (**Beliefert et al, 2001**).

II-2-3. La volatilisation

D'une façon générale, les métaux lourds sont à considérés peu ou pas volatiles à l'exception du mercure. Les composés volatiles du mercure s'échappent facilement vers l'atmosphère et constituent une source importante de contamination (**Ballirini et al, 1998**).

II -3. Sources des ETM dans l'environnement

Les ETM sont d'origine naturelle et anthropique. A partir de leurs points d'émission, les ETM vont emprunter différentes voies de dispersion pour se retrouver dans le milieu aquatique (**Cuita, 2003**).

II -3-1. Origines naturelles

En effet, la plupart des ETM sont des éléments constitutifs de la croûte terrestre présents au sein des minerais, concentrés dans le magma granitique. Ils sont aussi très présents dans les sédiments océaniques (**Blanquet et al, 2004**).

Les éléments métalliques sont fixés dans la roche sous deux formes : les oxydes et silicates qui sont très peu altérables et les sulfures et carbonates qui sont très altérables du fait de leur solubilité (**Gardas, 2000**).

Les éléments métalliques se retrouvent dans tous les compartiments de l'environnement du fait d'échanges permanents entre les réservoirs de l'hydrosphère. D'un point de vue atmosphérique, ils peuvent être mis en suspension en plus ou moins grande quantité soit par érosion éolienne soit au cours d'éruptions volcaniques, soit lors de l'exploitation des minerais (**Gardas, 2000**).

II -3-2. Origine anthropique

Du fait de leurs propriétés physico-chimiques intéressantes, les métaux sont très largement utilisés par l'homme :

- ✓ Les gisements, les filons métallifères exploités et l'activité minière peuvent être à l'origine d'une dispersion des métaux dans le milieu aquatique, qui se contamine via les eaux de ruissellement.
- ✓ L'industrie est néanmoins responsable de la majorité des rejets directs dans l'eau.
- ✓ La combustion du charbon et du fioul lourd, souvent chargés en métaux.
- ✓ Les rejets associés à la mise en décharge ou à l'incinération des produits arrivés en fin de vie: les piles, batteries, thermomètres et baromètres.
- ✓ Les incendies de forêts sont aussi une source naturelle qui contribue à l'enrichissement des sols et des eaux en métaux lourds.
- ✓ Les activités agricoles (les pesticides, les fumiers et les engrais..).
- ✓ Les boues des rejets urbains, des stations d'épuration, les compostes d'ordures ménagères (Audry, 2003 ; Blanquet *et al*, 2004).

II-4. Rôle biologique

Au niveau biologique, les ETM peuvent être repartis en deux grandes catégories, selon leur nécessité pour les organismes vivants:

II-4-1. Les éléments essentiels

Réunit tous les métaux présents à l'état de traces, qui sont indispensables à la vie des organismes vivants (Pagotto, 1999 ; Nicolau, 2005).

À des concentrations bien définies ; une carence peut entraîner l'inhibition d'une fonction de l'organisme alors qu'un excès est à l'origine d'une toxicité. De plus, un élément peut être essentiel pour un type d'organisme et non nécessaire pour un autre (Nicolau, 2005).

Ces éléments sont communément rassemblés sous le terme «d'oligo-éléments essentiels». On distingue dans cette catégorie les éléments suivants : Cu, Zn, Co, Fe, Ni, Mo, Se, Cr et As, etc. (Olivier, 2001 ; Casas, 2005; Nicolau, 2005).

II-4-2. Les éléments non essentiels

Cette catégorie regroupe, tous les éléments inutiles à la vie des organismes vivants et qui n'ont aucun rôle biologique actuellement connu (Olivier, 2001 ; Nicolau, 2005).

Ils sont considérés comme toxiques dès qu'ils sont dans le milieu et entraînent des effets biologiques nocifs à très faibles concentrations. C'est le cas de : Hg, Ag, Cd et Pb.

Les êtres vivants doivent donc mettre en œuvre des processus qui permettent de limiter l'accumulation des ces métaux ou les stocker sous forme non toxique (Pagotto, 1999).

II-5. La pollution métallique dans l'eau

II-5-1. Que veut dire la pollution de l'eau ?

L'eau est une substance unique, parce qu'elle s'auto-épurer, en permettant à des polluants de se précipiter (par le procès de sédimentation) ou de se décomposer, au point où ils ne sont pas présents à des concentrations dangereuse (**Manlius et al, 2009**).

Mais, ce procès naturel prend du temps, et c'est difficile quand des quantités excessives de contaminants dangereux sont ajoutées à l'eau ce qui conduit à la pollution (**Manlius et al, 2009**).

II-5-2. La pollution métallique

La pollution métallique peut être due aux différents métaux, Comme l'aluminium, l'arsenic, le chrome, le cobalt, le cuivre, le manganèse, le molybdène, le nickel, le zinc... ou encore à des métaux lourds comme le cadmium, le mercure ou le plomb, plus toxiques que les précédents. Cette pollution provient en effet essentiellement des activités humaines, ou naturellement d'une façon presque négligeable (**Audry, 2003**)

La pollution métallique pose un problème particulier, car les métaux ne sont pas biodégradables. En outre, tout au long de la chaîne alimentaire, certains se concentrent dans les organismes vivants (**Audry, 2003**).

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 (**Audry, 2003**).

II-5-3. Le transport des polluants dans le milieu souterrain

La pollution s'effectue à partir de la surface vers les profondeurs, par envahissement horizontal des nappes souterraines par l'eau de mer, mais généralement, la majorité des polluants métalliques qui sont susceptibles d'atteindre les eaux souterraines transitent par le sol. Lors de ce passage, ils peuvent subir des transformations bio-physico-chimiques, qui auront pour effet soit de les immobiliser ou de les retarder, ou favoriser leur solubilisation et leur transport par les eaux d'infiltration (**Collin, 2004**).

III. Toxicité des ETM

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

Une substance est alors dite toxique lorsque mise en contact avec un organisme vivant, elle peut entraîner chez lui une réaction spécifique ou un stress compromettant la réalisation de ses fonctions physiologiques ou point d'avoir des effets néfastes sur lui-même et sur sa progéniture (Sasseville, 1980).

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

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

III-1. Exposition de l'homme aux ETM

L'exposition permanente des êtres humains aux ETM est un grave problème qui ne cesse de prendre de l'ampleur dans le monde entier. Elle s'est fortement aggravée au cours des dernières années avec l'augmentation exponentielle de l'utilisation de métaux dans les processus et produits industriels (Huss, 2011).

Les ETM peuvent atteindre l'homme par passage à travers la peau (l'exposition cutanée), ingestion (diffusion par gradient de concentration jusqu'à la circulation sanguine) ou par inhalation (les vapeurs peuvent se dissoudre dans les muqueuses du système respiratoire ou arriver dans la circulation sanguine par l'intermédiaire des alvéoles pulmonaires) (Roesijadi, 1994).

III-2. Effets des ETM sur la santé humaine

La toxicité d'un métal peut être influencée par un certain nombre de facteurs (figure6). Parmi ces facteurs, on a ceux qui sont liés au contaminant (ou facteurs extrinsèques) tel que la nature du métal, spéciation chimique, biodisponibilité, etc (Kakkar *et al*, 2005).

Ces métaux peuvent agir en se liant à divers ligands contenant des groupements thiols ce qui peut conduire au blocage des groupes fonctionnels des molécules importantes telles que les enzymes et les polynucléotides, ils peuvent entraîner en outre la substitution des métaux essentiels.

A ces facteurs, s'ajoutent des facteurs intrinsèques liés à l'âge, le sexe, l'état nutritionnel, les conditions d'expositions et la variabilité génétique, etc (Kakkar *et al*, 2005).

L'ensemble de ces facteurs peut influencer sur la charge corporelle d'un métal, sa distribution tissulaire et ses effets nocifs (*Kakkar et al, 2005*).

La toxicité des métaux varie aussi selon la dose et la durée d'exposition. Une exposition de courte durée à des concentrations élevées cause des syndromes aigus, alors que l'exposition de longues durées à de faibles concentrations provoque des troubles chroniques. La gastroentérite, la pneumonie et l'insuffisance rénale et hépatique sont les troubles les plus fréquemment observés en cas d'exposition de longue durée à un certain nombre de métaux (cadmium, cuivre, plomb, zinc), L'exposition à des métaux pourrait également causer le cancer (*Kakkar et al, 2005*).

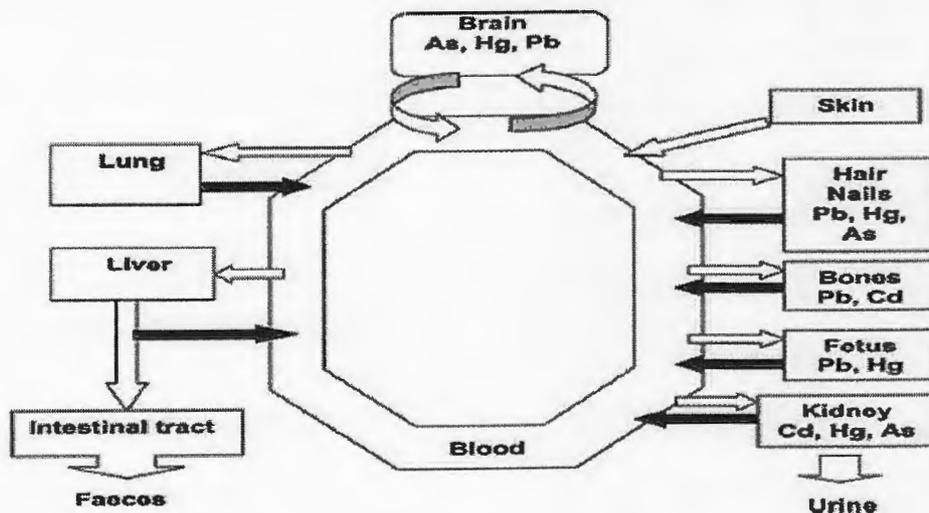


Figure 6. Répartition des métaux dans l'organisme humain (*Kakkar et al, 2005*).

III-3. Impact des ETM sur la vie aquatique

Un écosystème aquatique devient insalubre ou malsain lorsque l'équilibre naturel a été perturbé. Ces perturbations peuvent être physiques, biologiques ou chimiques. Ces dernières résultent des rejets des ETM et autres produits chimiques qui peuvent avoir des effets toxiques aigus ou chroniques sur la vie aquatique. Mais ces effets surviennent lorsque les organismes sont exposés à des niveaux de concentrations supérieures à ceux qu'ils requièrent (*Biney et al, 1991*).

Les métaux peuvent être absorbés sous la forme inorganique ou sous la forme organique. Pour certains éléments, comme l'arsenic et le cuivre, la forme inorganique est la plus toxique. Pour d'autres, comme Hg et Pb, les formes organiques sont les plus toxiques (*Biney et al, 1991*).

A de faibles concentrations, beaucoup des ETM, dont Hg, Cd, Pb, As et Cu inhibent la photosynthèse et la croissance du phytoplancton (*Biney et al, 1991*).

Les effets observés à des niveaux trophiques supérieurs se manifestent notamment par un retard du développement des embryons, des malformations et une moins bonne croissance des adultes chez les poissons, les mollusques et les crustacés (**Biney *et al*, 1991**).

III-4. Les ETM les plus préoccupants pour la santé

Parmi les ETM, on distingue principalement deux éléments se détachent nettement en ce qui concerne les risques pour la santé de certaines tranches de la population humaine : le cadmium et le plomb (**Chatain, 2004**).

L'objet de notre étude toxicologique étant donc spécifiquement lié à ces deux éléments. Ce choix est dicté en partie, à cause de leur importante diffusion, de plus leurs capacités à s'accumuler dans la chaîne alimentaire et donc leur impact sur un grand nombre d'individus, du à la pollution de l'environnement et notamment les systèmes aquatiques-en partie, pour la gravité de leur effets toxiques.

III-4-1. Le Cadmium

III-4-1-1. Définition et propriétés

Le nom de Cadmium vient du latin *cadmia* (calamine), ancien nom donné au carbonate du zinc. Le cadmium est un élément ductile (résistance à l'étirement), malléable (résistance à l'aplatissement) et très fusible (point de fusion à 320,9°) ; il possède un poids atomique de 112,40 et cristallise sous une forme hexagonale. Dans la nature, le cadmium est un métal blanc argenté, ses propriétés physico-chimiques présentent beaucoup de similitudes avec celles du zinc et du calcium (**Copaux *et al*, 1925**).

Le cadmium n'est pas essentiel au développement des organismes, et ne semble pas biologiquement bénéfique au métabolisme cellulaire. En revanche, ses propriétés physiques et chimiques permettent de traverser les barrières biologiques et de s'accumuler dans les tissus (**Chiffolleau *et al*, 1999**).

III-4-1-2. Comportement dans l'eau

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

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

III-4-1-3. Toxicité

a. Devenir dans l'organisme

L'absorption digestive du cadmium est faible (environ 5 à 10%). Après passage par la barrière intestinale, le cadmium se trouve dans le sang ou il est rapidement distribué dans le foie et les reins et dans une moindre mesure dans le pancréas et la rate (**Ricoux et al, 2005**).

Le cadmium est un toxique cumulatif dont la demi-vie biologique est très longue estimée de 20 à 30 ans chez l'homme. Son excrétion est très lente presque exclusivement par voie urinaire (**Ricoux et al, 2005**).

b. Toxicité aiguë

Les effets aigus n'apparaissent qu'après ingestion d'au moins 10mg de cadmium. Les symptômes observés sont des gastro-entérites avec des vomissements, des diarrhées, des myalgies et des crampes épigastriques (**Pillet, 2001**).

L'insuffisance rénale est la conséquence des troubles hémodynamiques et d'un effet toxique direct sur les tubules rénaux. En cas d'intoxication massive, on observe un collapsus cardiovasculaire, une acidose métabolique intense et une coagulation de consommation entraînant la mort en quelques heures (**Pillet, 2001**).

c. Toxicité chronique

✓ *Effets systémiques*

Les effets toxiques du cadmium sont nombreux, mais les principales atteintes de l'organisme suite à une exposition prolongée au cadmium sont, chez l'animal comme chez l'homme des atteintes de la fonction rénale (**Joris, 2005**).

Après 60 à 75 jours d'exposition à 50 mg/kg, il, se produit une dégénérescence des cellules des tubules proximaux se traduisant par une perte anormale de protéines de faible poids moléculaire dans les urines (protéinurie) (**Joris, 2005**).

L'endémie **Itaï-Itaï** illustre bien la contamination de l'homme par ce métal se traduisait par une atteinte rénale très importante associée avec une ostéoporose et des symptômes d'ostéomalacie (**Joris, 2005**).

✓ *Effets cancérigènes*

Le cadmium est aussi considéré comme un agent tératogène et carcinogène, il a été classé dans la catégorie « cancérogène pour l'homme » par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC), mais cette classification a été basée sur l'exposition par inhalation (Waalkes, 2000).

III-4-2. Le plomb

III-4-2-1. Définition et propriétés

Le plomb est un métal ubiquitaire de couleur bleu gris qui présente un poids atomique de 207,2 et une densité égale à 11,3. Il fond à 327° et bout à 1525°. C'est le 36^{ième} élément de la croûte terrestre en termes d'abondance, il ne possède ni odeur ni saveur particulières (Baize, 1997).

Le plomb métallique ne se dissout pas dans l'eau et ne brûle pas (EPA, 1999). Selon les auteurs, la concentration moyenne en Pb dans la croûte terrestre varierait entre 13 et 16 µg/g, et leur concentration dans les eaux de surface non contaminées ne dépasse pas 10 µg/l (Baize, 1997).

III-4-2-2. Comportement dans l'eau

Le plomb existe sous trois formes essentielles : le plomb dissous, colloïdale et le plomb particulaire. Sous forme dissoute, les espèces dominantes dans l'eau de mer sont les carbonates $PbCO_3$ ou les chlorures $PbCl_2$, etc. Il présente une forte affinité pour la matière particulaire. La fraction adsorbée sur les particules en suspension augmente avec le pH et diminue lorsque la chlorinité augmente. De même que pour le mercure, le plomb peut être méthylyé par les bactéries dans les sédiments (Cossa *et al*, 1993).

III-4-2-3. Toxicité

a. Devenir dans l'organisme

Le plomb existe principalement sous forme inorganique. L'ingestion est la voie d'exposition principale du plomb. Après absorption, le plomb passe facilement dans l'organisme, après quelques semaines 90 % du plomb conservé dans l'organisme est stocké dans les os ou dans les dents ou il peut rester des dizaines d'années s'il n'est pas remobilisé (grossesse, lactation...etc) de même certaines pathologies (ostéoporose, fracture) pourraient entraîner une mobilisation intense du plomb osseux (Plante *et al*, 1998).

Le plomb sanguin représente 2 % de la quantité présente dans l'organisme. Sa demi-vie biologique chez l'adulte est de 20 à 30 jours. Le plomb qui n'est pas stocké est éliminé par les urines ou les fèces (**Links et al, 2001**).

b. Toxicité aiguë

L'intoxication aiguë au plomb se manifeste différemment selon qu'elle survient chez l'enfant ou chez l'adulte. Chez l'enfant, l'intoxication aiguë au plomb est caractérisée par l'anorexie, les vomissements, l'irritabilité et les troubles de comportements (**Lapreche et al, 2004**), alors que chez l'adulte elle se manifeste cliniquement par un goût métallique, des douleurs abdominales (coliques) et la constipation. Ces symptômes se manifestent généralement lorsque la plombémie atteint 30 à 50 µg/dl (1,44 à 2,4mol/l) (**Casas, 2005**).

c. Toxicité chronique

✓ *Effets systémiques*

Le plomb est un toxique cumulatif dont l'intoxication à long terme est le saturnisme. Il modifie le fonctionnement cellulaire en perturbant différents processus physiologiques. Il peut ainsi provoquer l'anémie sanguine et des effets rénaux (insuffisance rénale). Il possède des effets sur le système nerveux central (retard de développement, irritabilité, troubles du sommeil, perte de mémoire,...) et à long terme sur la fertilité (**Bisson et al, 2003**).

Les effets du plomb sont généralement amplifiés chez le fœtus et l'enfant (anomalies congénitales, déficits neuro-comportementaux durables) (**Belliles, 1994**).

✓ *Effets cancérogènes*

Le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a classé le plomb et ses dérivés inorganiques dans la catégorie 2B (potentiellement cancérogènes pour l'homme). Sa cancérogénicité a été démontrée chez l'animale mais insuffisamment démontré chez l'homme.

III-5. ETM et stress oxydant

III-5-1. Définition du stress oxydant

La survie de tout organisme nécessite qu'un état d'équilibre physiologique soit maintenu en toute circonstance. Cet état d'équilibre est sans cesse menacé par diverses perturbations intrinsèques à l'organisme ou provenant de son environnement (**Silvestre, 2005**).

Le stress est donc aujourd'hui considéré comme un état de déséquilibre physiologique provoqué par un facteur de stress et déclenche une réponse au stress. Au niveau cellulaire, le stress oxydant cellulaire est classiquement défini comme étant la conséquence d'un déséquilibre entre les systèmes pro- producteurs d'espèces radicalaires oxydantes et les systèmes de défense anti- oxydantes au profit de premiers (figure 7) (Rousselot *et al*, 2007).

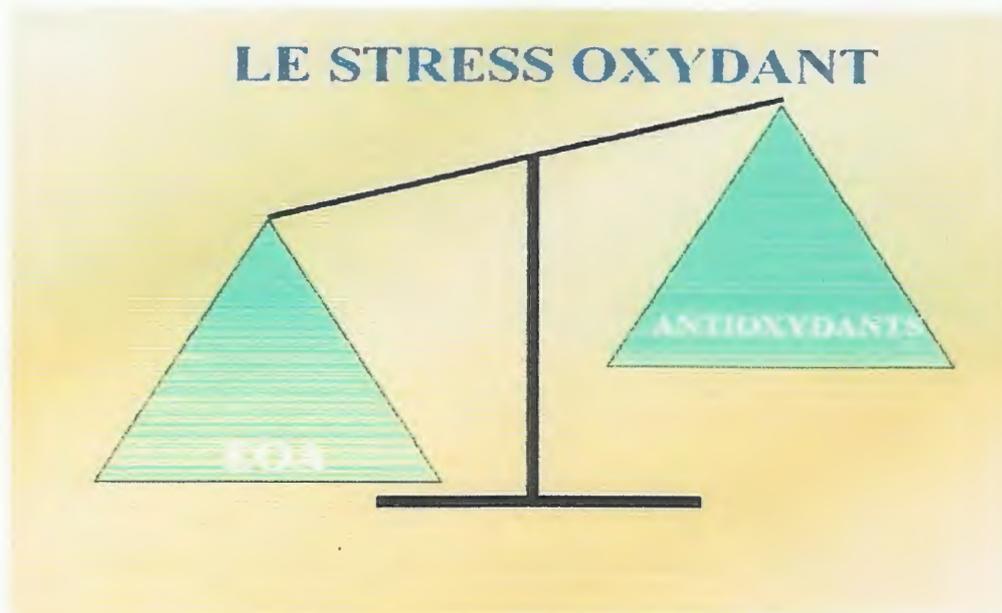


Figure 7. Un déséquilibre entre les pro- oxydantes et les anti- oxydantes (Rousselot *et al*, 2007).

III-5-2. Mécanismes de toxicité des ETM

La génération d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) (anion superoxyde, radical hydroxyle, peroxyde d'hydrogène, oxyde nitrique) fait partie du métabolisme normal de la cellule (Stohs *et al*, 1995).

La chaîne de transport des électrons dans la mitochondrie et les lysosomes génèrent ces espèces de manière constitutive. Par contre, lors d'une contamination par les ETM, il se crée un déséquilibre entre la génération de ROS et la production d'antioxydants (Stohs *et al*, 1995).

Une hypothèse de plus en plus grandissante indique que les ETM (Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, Ag, Hg, Ni) jouent le rôle de catalyseur dans la détérioration oxydative des macromolécules biologiques et des tissus (Le pape, 2003). De nombreuses études récentes montrent leur capacité à catalyser des radicaux libres entraînant la peroxydation des lipides, la réduction des groupements sulfhydriques des protéines, l'altération de l'homéostasie de calcium et finalement les dommages de l'ADN (Valko *et al*, 2006).

Matériel et méthodes



Ce chapitre comporte trois volets de l'étude expérimentale ; le premier volet résume la zone d'étude du point géographique, hydrographie, géologie, et sa climatologie. Le second volet comportera l'analyse chimique des ETM dans les eaux des forages. Le troisième volet portera sur une enquête exécutée, et une évaluation préliminaire des risques sanitaires, liés à l'exposition aux ETM via l'ingestion des eaux par dosage de ces derniers dans le sang et les urines, et par évaluation d'un paramètre représentatif du statut du stress oxydant : le glutathion.

I. Cadre générale de la zone d'étude

I-1. Situation géographique de la wilaya de Jijel

La wilaya de Jijel se situe à 360 km de la capitale Alger, vers l'est. Elle s'étend sur une superficie de 2.398,69 Km² avec une façade maritime de 120 Km. C'est une région côtière limitée au nord par la mer méditerranée, à l'ouest par la wilaya de Bejaia, à l'est par la wilaya de Skikda, au sud-ouest la wilaya de Sétif, au sud par la wilaya de Mila et enfin au sud-est par la wilaya de Constantine (Figure 8) (ANRH, 2012).

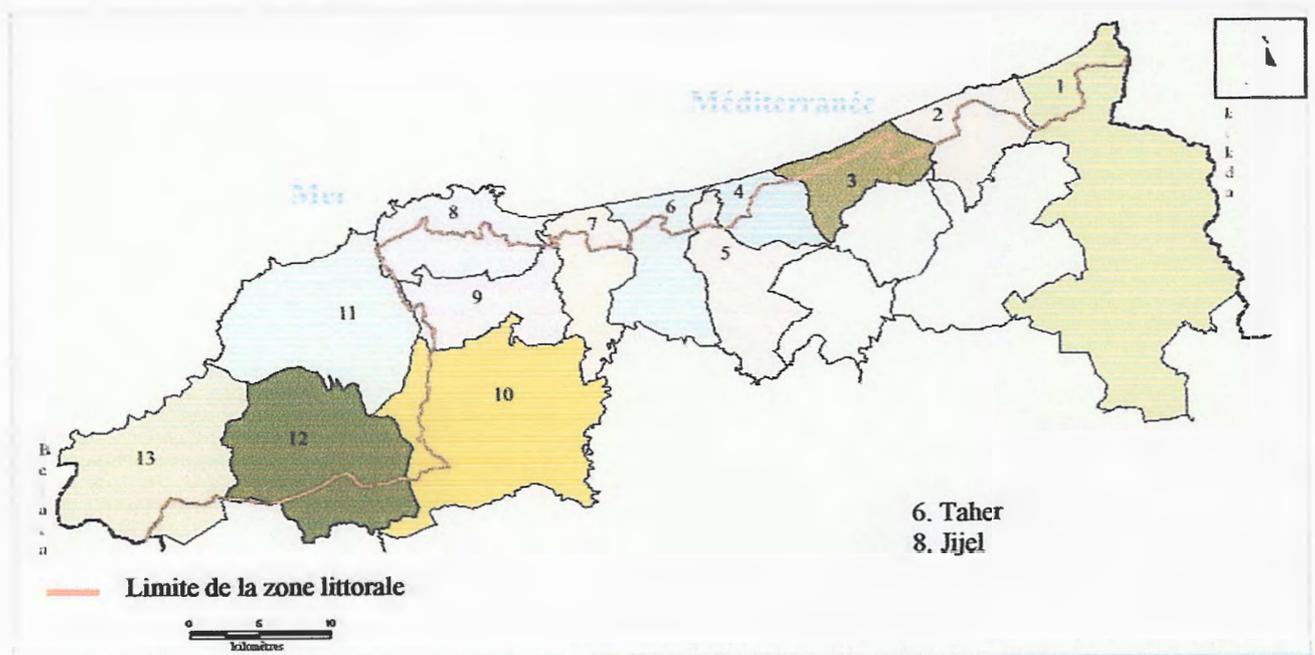


Figure 8. Situation géographique de la wilaya de Jijel (ANRH, 2012).

I-2. Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de la zone est très dense et englobe plusieurs oueds dont les plus importants sont : oued Djendjen, oued El Kébir, oued Kessir, oued Nil et oued Mancha (ANRH, 2012).

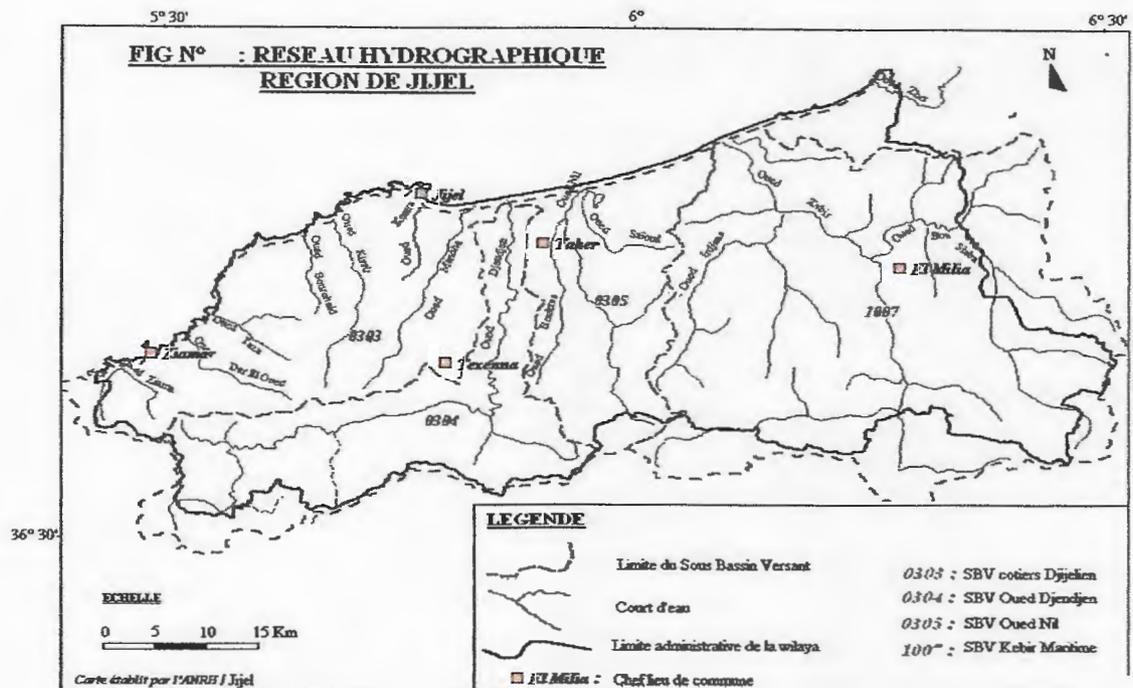


Figure 9. Carte du réseau hydrographique de la Wilaya de Jijel (ANRH, 2012).

I-3. Aperçu géographique de la zone d'étude

Les forages retenus comme sources d'approvisionnement en eau de boisson de la ville de Jijel se situent dans La daïra de Taher, qui s'étend à dix huit kilomètres à l'est de la ville de Jijel. La totalité de ces forages sont implantés dans le bassin versant d'oued Nil qui s'étend à une vingtaine de kilomètre au sud-est de la ville de Jijel et occupe une superficie de 268 Km². Il est traversé par un seul cours principal, qui est oued Nil. Il coule du sud vers le nord avec un débit annelle de 230 million de mètres cubes à l'embouchure (figure10). Il est considéré comme un collecteur des eaux de ruissellement qui affluent sur ses deux rives (ANRH, 2012).

Sur la rive droite, les principaux affluents (temporaires) qui se déversent dans l'oued Nil sont l'oued Chekfa et l'oued Saayoud ; sur la rive gauche on compte l'Oued Boukraa et l'affluent de Ghedir el Merdj. Dans la partie aval du bassin versant de l'oued Nil on rencontre sur le côté droit Ghedir Bni Hauza et sur le côté gauche Ghedir el Merdj et plus d'une dizaine de puits collectifs qui alimentent la ville de Jijel en eau de boisson distribuée en camions citernes alors que la partie amant est caractérisée par la présence des forages de l'oued Nil (ANRH, 2012).





Figure 10. Image satellitaire d'oued Nil (Source : logiciel Google earth 2012).

I-4. Sites d'échantillonnage

Les forages de l'oued Nil qui sont la source majeure en eau potable alimentant les villes de Jijel et de Taher, et sont situés dans la daïra de Taher qui s'étend à dix huit kilomètres de l'est de la ville de Jijel.

Le 30 avril 2012, une campagne d'échantillonnage a été mener au niveau de huit stations de prélèvements (forages) réparties le long du bassin versant de l'oued Nil et nommés respectivement ON₀₂, ON₂₃, ON₂₄, ON₂₇, ON₃₃, ON₃₄, ON₃₅, ON₄₂ (figure 11).

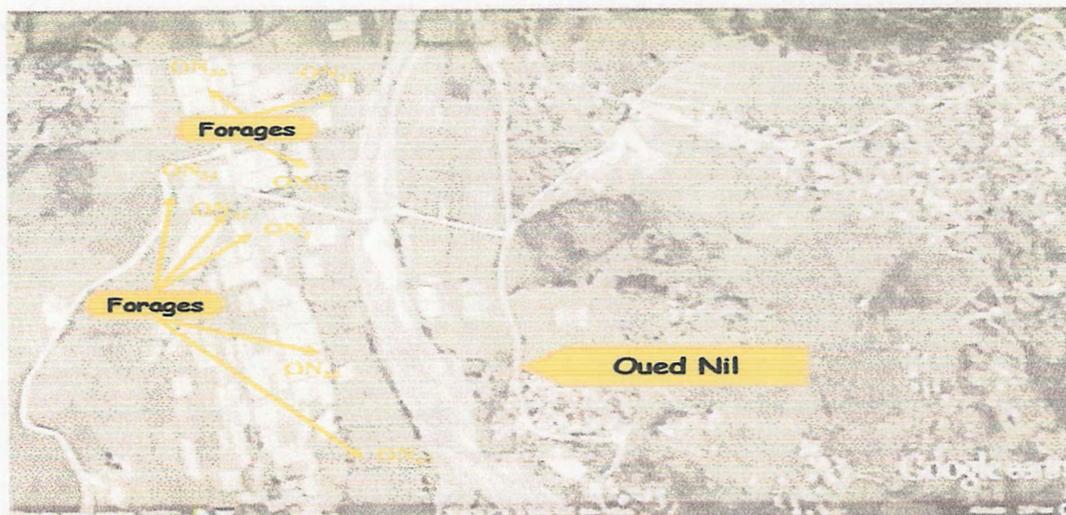


Figure 11. Image satellitaire montrant la localisation des forages étudiés (Source : logiciel Google earth 2012)

I-5. Aperçu géologique

La région étudiée fait partie de la petite Kabylie qui s'intègre dans la partie orientale des Maghrébides, branche méridionale de la chaîne alpine de la Méditerranée orientale.

Dans la géologie de région de Jijel, nous avons un ensemble de terrains sédimentaire d'âge Mésozoïque et Cénozoïque couvrant les terrains métamorphiques, donc la couverture tertiaire repose soit sur le socle Kabyle, soit sur les terrains crétacé appartenant à des séries de types flyschs. Cette région est Une zonalité métallique et des corrélations géochimiques particulières riche en gisements de Pb-Zn (Kidouch *et al* , 1991).

I-6. Les données climatologiques de la région de Jijel .

Comme toutes les régions du littoral algérien, la région de Jijel est considérée parmi les régions les plus pluvieuses d'Algérie. Elle bénéficie d'un climat méditerranéen, pluvieux et froid en hiver, chaud et humide en été (ONM, 2011). Ainsi nous pouvons résumer les principales tendances climatiques de la région comme suit :

I-6-1. Les températures

Les données de la station météorologique de Taher sont mentionnées dans le tableau ci-dessous et la figure 12. Les températures minimales obtenues en hiver sont de l'ordre de 11.6 à 12°C en janvier et février. Alors que les températures maximales enregistrées sont de 25.9 à 26,6 durant les mois de juillet et août (ONM, 2011).

Tableau 4. Températures moyennes mensuelles au niveau de la station de Jijel aéroport (1999-2011).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
T moyennes (°C)	11.6	12	13.7	16.1	19.3	23	25.9	26.5	23.7	21	15,8	12.9

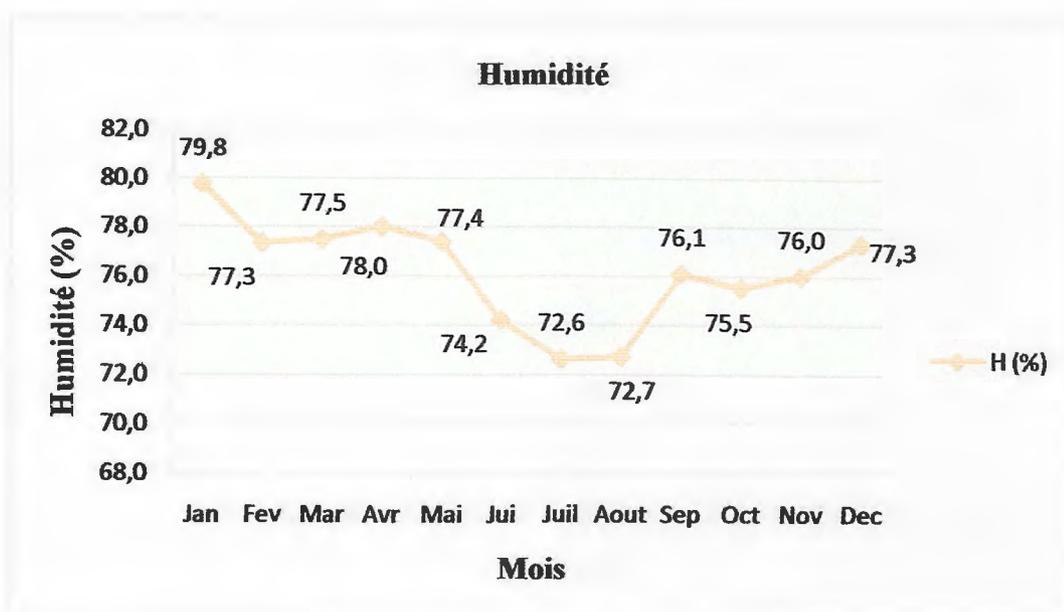


Figure 13. Variations de l’humidité moyennes de la période (1999-2011) (ONM, 2011).

I-6-3. Le vent

Selon les données obtenues auprès de la station météorologique de l’aéroport, les vents dominants sur la région sont de secteur :

- Ouest-nord-ouest à nord en hiver.
- nord-nord-est jusqu’à sud-est au printemps.
- sud-est jusqu’à ouest-nord-ouest en été et automne (Station météorologique de l’aéroport)

I-6-4. La pluviosité

La région de Jijel est considérée parmi les régions les plus pluvieuses en Algérie, les pluies se manifestent essentiellement en automne et en hiver.

Les précipitations y sont abondantes aux mois de novembre, décembre et janvier ; et sont très faibles en mois de juillet et août. Les résultats de précipitations (Pr) mensuelles moyennes (1999-2011) sont présentés dans le tableau et la figure suivants (ONM, 2011) :

Tableau 6. Précipitations moyennes mensuelles au niveau la station de Jijel aéroport (1999-2011).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Pr moyennes (mm)	156,3	100,8	86,4	78	50,6	15,7	9,5	13,6	66,5	87,5	158,4	189,1

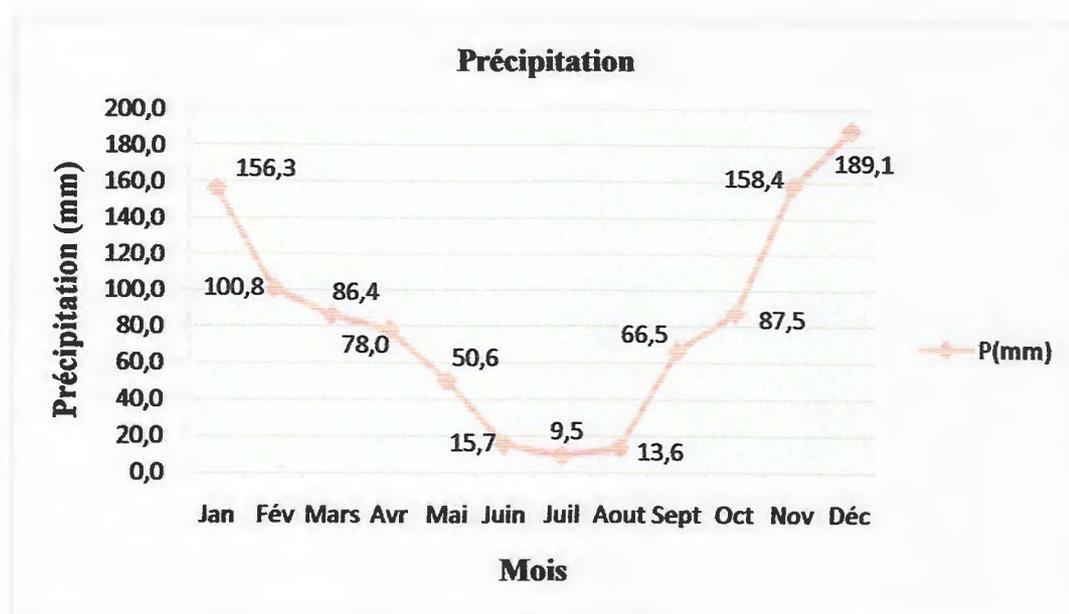


Figure 14. Variation des précipitations moyennes mensuelles de la période (1999-2011) (ONM, 2011).

I-7. 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%.

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 7) (ANRH, 2012).

Tableau 7. Les nappes de la wilaya de Jijel (ANRH, 2012).

Nom de la nappe	Réserve de la nappe en Mm3/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

I-8. Le contexte socio-économique et occupation du sol

La wilaya de Jijel comptait une population estimée à 651745 habitants pour une densité moyenne de 247 habitants au Km² en 31/12/2011 (DPSB, 2012).

Aux diverses activités, la majeure partie de la population de cette région est liée à l'agriculture. Le territoire de la zone d'étude est constitué principalement de plaines alluviales homogènes, les plus fertiles de la wilaya de Jijel.

Les conditions climatiques, topographiques et édaphiques, plaident pour un développement conséquent de l'activité agricole.

L'activité agricole est d'une importance économique majeure dans la région. Elle occupe une superficie de 99 024 ha, soit la moitié de la superficie totale de la wilaya (41% de la superficie totale).

La superficie utile est estimée de 43649 ha, elle est irriguée à partir des cours d'eaux ; forages, puits, et bassins versant, etc (Direction des services agricoles, 2007).

II. Analyses chimiques des ETM dans l'eau

II-1. Prélèvement des échantillons

L'échantillonnage d'une eau comprend en premier lieu la préparation du prélèvement, le conditionnement de l'échantillon, ainsi que son stockage jusqu'au moment où l'eau est analysée au niveau de laboratoire (AFNOR, 1997) Avant d'effectuer l'échantillonnage au niveau de terrain, il faut faire une préparation préliminaire des flacons.

II-2. Conditionnement des flacons

Pour le dosage des ETM, le plomb et le cadmium dans notre étude, nous avons utilisé 16 flacons de 500 ml en polyéthylène. Les flacons ont été préparés la veille du prélèvement selon la méthode de Quémerais (1997) :

Pendant toutes les étapes du travail, les consignes pour éviter une éventuelle contamination ont été respectées. Les flacons subissent au préalable un nettoyage minutieux: lavage des flacons avec du détergent, suivi d'un rinçage abondant à l'eau de robinet. Décontamination par l'acide nitrique, cette étape consiste en un trempage des flacons dans une solution d'acide nitrique (10%), associé d'un rinçage successif avec de l'eau distillée. En fin, un séchage à l'air libre sous la hôte pendant 12 heures.

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

II-3. Protocole du prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques. Il est donc nécessaire de mettre en place une organisation de développer une méthodologie adaptée à chaque cas de procéder à un choix judicieux des points de prélèvements et d'utiliser les matériaux convenables (vandevenne, 1982).

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

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

- Utiliser du matériel de conditionnement toujours propre.
- Si l'eau passe par une pompe, ne pas prélever d'échantillon avant au moins 10 minutes de fonctionnement de la pompe.
- Les flacons seront de nouveau rincés à trois reprises avec de l'eau à analyser, puis 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, les flacons contenant les échantillons sont étiquetés de façon claire pour éviter tout risque de confusion des échantillons (Date d'échantillonnage, lieu, numéro de forages, etc) (Devez, 2004).

II-4. Modes de conservation et de transport

Les modes de conservation sont intimement liés aux méthodes analytiques utilisées. Il est primordial de travailler selon les considérations générales suivantes:

- D'une façon générale le transport à la température de 4°C et à l'obscurité dans des emballages isothermes permet d'assurer une conservation satisfaisante pour empêcher toute prolifération microbienne (utilisation des glacières et des agents réfrigérants) (Rodier ,2005).

- Les glacières utilisées doivent être propres, réservées autant que possible à l'analyse de l'eau potable et nettoyées régulièrement.
- Tous les échantillons destinés à l'analyse chimique doivent être conservés à une température d'environ 4°C au laboratoire (Rodier, 2005).

II-5. Conditionnement des échantillons

Dans notre étude de la recherche des ETM dans les eaux nous avons suivi le principe qui consiste à examiner les deux formes : métaux totaux et métaux dissous, dont les échantillons de la première forme sont acidifiés par 6 ml de l'acide nitrique (HNO₃ 65 %) pour 200 ml d'eau à analyser afin d'assurer le meilleur conditionnement des échantillons et s'affranchir les problèmes de modifications de matrice et de contamination, après l'acidification, ces derniers sont filtrés au travers des membranes filtrantes de porosité 0,45 µm avec un appareillage de filtration en verre (filtration sous vide), alors que la second c'est l'inverse : filtration puis acidification.

Nous avons récupéré le filtrat dans des flacons propres pour déterminer la teneur totale et dissoute en cadmium et en plomb dans nos échantillons, puis nous retournons les flacons au réfrigérateur à une température de 4°C.

III. Evaluation préliminaire des risques sanitaires

Le terme risque désigne la chance ou la probabilité qu'un événement en particulier se produira. Afin d'évaluer le potentiel des risques sanitaires d'une éventuelle contamination des eaux de forages en ETM pour la santé humaine, nous avons réalisé une évaluation préliminaire des risques sanitaires liés à l'exposition aux métaux via l'ingestion des eaux des forages sur une population cible. L'objectif général du présent essai est une évaluation des risques de deux métaux, le plomb et le cadmium, pour la santé des consommateurs.

III-1. Enquête exécutée

Une enquête de terrain a été menée. Un questionnaire sous la forme d'un formulaire a été adopté où le profil des habitudes de vie des participants a été établi. Pour répondre à la majorité des questions, il suffisait de cocher la case oui ou non. Ces informations peuvent s'avérer essentielles pour l'interprétation des taux de base de certains éléments, par exemple, le statut de fumeur en relation avec les taux de cadmium sanguin. Les sujets proposés dans le questionnaire rempli par les participants sont énumérés ci-dessous :

- Sources d'eau consommée
- Age
- Alimentation particulière (algues, végétarisme, poissons, fruits de mer,...etc)
- Consommation de médicaments et drogues (alcool)
- Consommation de suppléments (vitamines et minéraux)
- Exposition professionnelle / environnementale spécifique
- Implants divers (prothèses, amalgames, etc)
- Région géographique de résidence
- Sexe
- Statut ménopausique
- Tabagisme

III-2. Evaluation de l'exposition aux ETM par ingestion des eaux des forages pour la santé

Pour évaluer le potentiel de risque pour la santé humaine de la population en général, les analyses de risque sont faites pour la principale voie d'exposition à savoir l'ingestion d'eau souterraine à partir des forages de l'oued Nil.

Pour la quantité d'eau potable consommée par jour de la population en général, selon MSSS (2002), les valeurs incluent l'eau utilisée pour la préparation des aliments et celle prise au robinet. Le tableau 8 présente l'estimation d'eau consommée selon le poids corporel et la classe d'âge (MSSS, 2002).

Tableau 8. Poids corporels et consommations d'eau estimées par classes d'âge pour la population en général (MSSS, 2002).

Classes d'âge		Durée des Classes d'âges	Poids corporels (Kg p.c.)	Consommation D'eau potable (L/j)
Nourrissons	< 0,5 an	0,5	8,2	0,596
Jeunes enfants	0,5 an à 4 ans	3,5	16,5	0,728
Enfants	> 4 à 11 ans	7	32,9	0,985
Adolescents	> 11 à 19 ans	8	59,7	1,232
Adultes	> 19 ans	51	70,7	1,584

La formule de l'exposition par ingestion d'eau est la suivante (MSSS, 2002) :

$$D_e = (C_e \times QI_e)/P$$

Où : D_e = dose d'exposition par ingestion d'eau potable (mg métal/kg/jour)

C_e = concentration de métal dans l'eau potable (mg métal/L)

QI_e = volume d'eau potable ingéré en fonction de la classe d'âge (L/jour)

P = poids corporel (kg)

III-3. Analyse du profil métallique

La notion de profil métallique est d'un intérêt majeur en évaluation du risque. Elle permet de rechercher ou de mettre en évidence une intoxication ou une exposition à l'un des éléments quantifiés. Il s'agit de poisons dits «classiques»: tels : l'arsenic, le thallium, le plomb, le mercure et le cadmium.

Dans notre étude le profile métallique du plomb et du cadmium a été recherché dans le sang et les urines de neuf volontaires.

III-3-1. Echantillonnage

Les volontaires sélectionnés habitent dans la zone d'étude (Taher) et s'approvisionnent en eau de boisson à partir des forages du bassin versant de l'oued Nil. Ce choix est appuyé par le fait que la zone de notre étude est une région non industrialisée.

III-3-2. Prélèvement du sang et urines

➤ Sang

Concernant les échantillons du sang, une infirmière de laboratoire d'analyse médicale de Dr Bourouid à Taher a été chargée de prélèvement par ponction veineuse.

Les échantillons sont prélevés dans 10 tubes de 4 ml avec anticoagulant de l'acide tétra-acétique éthylène diamine (EDTA), puis homogénéiser par agitation douce. Après la séance de prélèvements (le 18 mai 2012), les échantillons ont été acheminés au laboratoire la journée même et tous les échantillons étaient congelé à (- 20 °C) jusqu'au moment des analyses.

➤ Urine

Une urine fraîche ou du matin est préférable (première miction), le prélèvement doit être fait par ponction vésicale dans un flacon étanche. Les spécimens doivent être conservés à la température de 4°C dans des tubes en verre de 10 ml (04 tubes), protégés d'une forte exposition à la lumière et être acheminés au laboratoire.

III-3-3. Préparation des échantillons

Le sang total et les urines subissent le jour de l'analyse un traitement préalable qui consiste à une dilution à 1 :10 dans l'eau distillée suivi d'une filtration à 45µm (Kunnath, 1996 ; Koscielniak *et al* 2002 ; Kozłowska *et al*, 2003). Ce prétraitement est recommandé pour éviter le blocage de nébuliseur par la densité élevée qui caractérise les matrices biologiques riches en protéines.

III-4. Evaluation du statut du stress oxydant

Cette partie présente les techniques de toxicologie appliquée dans notre étude pour évaluer l'effet des métaux lourds sur le stress oxydant dans le sang des personnes qui utilisent l'eau des forages comme eau potable.

Les métaux lourds sont des agents toxiques, ils exercent leurs actions délétères par une forte production d'espèces réactives de l'oxygène qui à leur tour induisent un stress oxydant (Burnet, 1999).

L'objectif de cette partie de notre travail, était de rechercher les effets potentiellement délétères des contaminants métalliques contenus dans l'eau de boisson de la région de Jijel sur un marqueur du stress oxydant dans le sang.

III-4-1. Dosage du glutathion dans le sang

Le glutathion ou γ -L-glutamyl-L-cystéinglycine est un tripeptide. Grâce à son groupement SH libre, le glutathion constitue le principal antioxydant propre à la cellule.

Pour le dosage du glutathion (GSH) sanguin, nous avons utilisé la méthode colorimétrique d'Ellman (1959) modifiée, par le réactif acide 5, 5'-Dithiobis-2-nitrobenzoïque (DTNB). Le principe de la réaction consiste à l'oxydation du GSH par le DTNB, ce qui libère l'acide thionitrobenzoïque (TNB).

Pour cela, 100 µl du sang sont homogénéisés avec 200µl de l'acide trichloracétique (TCA 10%). Vortexés et centrifugés à 4000 rotations/min pendant 10 min, 200 µl du surnageant sont ensuite homogénéisés avec 700µl de Tris-Hcl (400 mM) et 100 µl de DTNB (2.5 mM) dont l'apparition de la couleur jaune à différentes graduations, la lecture de la densité optique est effectuée à 412 nm au spectrophotomètre.

Le taux du GSH est déduit à partir d'une gamme étalon de glutathion préparée dans les mêmes conditions que le dosage, et les concentrations sont exprimés en milimoles de glutathion par gramme du sang (Ellman, 1959).

IV. La méthode d'analyse des ETM

Les techniques d'analyse ont pour but de déterminer la composition d'un échantillon et de doser les éléments qui le constituent. Dans les premières études, on a employé des techniques gravimétriques, volumétriques et colorimétriques, les méthodes modernes emploient des méthodes électrochimiques ou des techniques apparentées au nucléaire, mais la plupart de ces méthodes sont très coûteuses.

C'est pour cette raison que la Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (SAA) est de loin la méthode la plus couramment utilisée pour le dosage des ETM (Figure 15) (Brokaert *et al*, 2005). Notre étude s'intéresse principalement à l'utilisation de cette technique d'analyse (SAA), pour le dosage de deux ions métalliques présents comme impuretés au niveau des forages de l'oued Nil et par conséquent pouvant se répandre dans l'environnement avoisinant.

Cette méthode d'analyse va constituer un outil pour le suivi de la pollution à travers des échantillons de l'eau, du sang et des urines choisis comme bio-indicateurs de contamination des eaux de boissons.

IV-1.Principe de la spectrométrie d'absorption atomique

Le principe de la SAA est basé sur la propriété d'absorption atomique qui est une méthode utilisée pour l'analyse quantitative d'un grand nombre d'éléments chimiques, elle se produit lorsqu'un atome appartenant à l'état fondamental passe à l'état excité par l'absorption d'une énergie, sous la forme d'un rayonnement électromagnétique, qui correspond à une longueur d'onde spécifique (Pradyt, 2004).

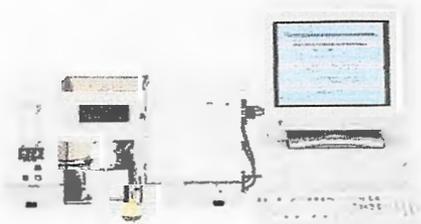


Figure 15. Spectromètre atomique SAA6200 (Brokaert *et al*, 2005).

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

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

Résultats et discussion

Ce chapitre englobe trois parties : la première présente les résultats d'analyse chimique des ETM dans l'eau de boisson consommée par la population de la région de Taher, la deuxième présente les résultats de l'enquête exécutée et des dosages des ETM dans le sang et les urines et celle de l'évaluation de l'effet des ETM sur le stress oxydant sont présentés et interprétés, puis discutés dans la troisième partie.

I. Résultats d'analyse chimique

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

I-1. Concentration du cadmium dans les eaux des forages

Les tableaux (9 et 10) et les figures (16 et 17) présentent les concentrations du cadmium sous ses deux formes, dissoutes et totales dans les eaux des forages qui alimentent la ville de Jijel et la région du Taher en eaux potable.

Tableau 9. Teneurs en cadmium total dans les eaux des forages de l'oued Nil.

Cadmium (Cd) total								
Stations forages	ON02	ON23	ON24	ON27	ON33	ON34	ON35	ON42
Concentrations ($\mu\text{g/l}$)	54,7	69,6	41,7	63,6	72,6	50,7	66,6	62,6
Normes OMS ($\mu\text{g/l}$)	3,0							

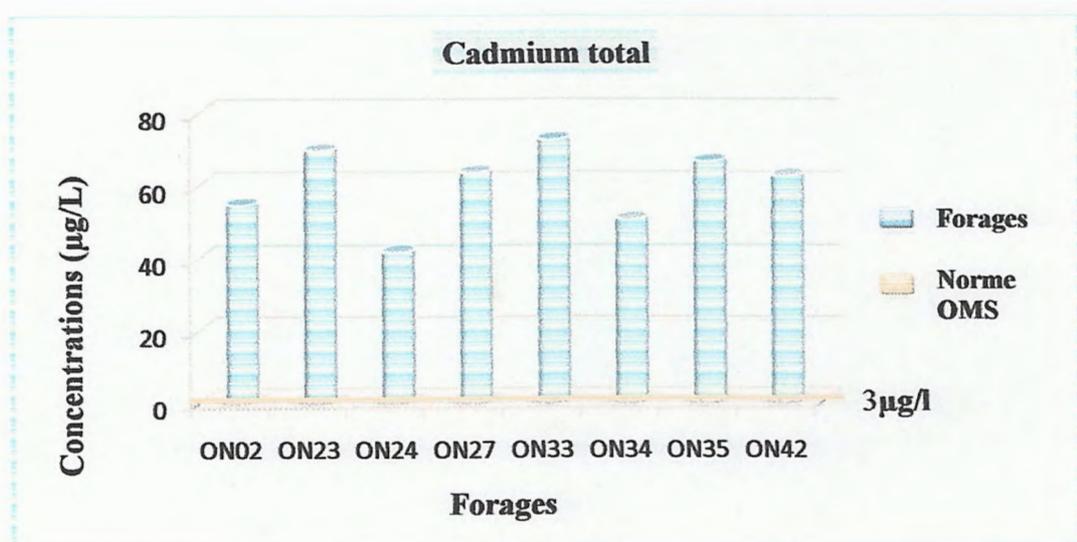


Figure 16. Teneurs en Cadmium total dans les eaux des forages de l'oued Nil.

D'après les résultats des analyses obtenus dans notre étude, nous avons remarqué que les teneurs en cadmium total sont hautes et variables d'un forage à l'autre (tableau9 et figure 16). La concentration maximale de ce métal révélée dans l'eau est de (72,6 $\mu\text{g/l}$) au niveau de l'ON₃₃, alors que la valeur minimale est de (41.7 $\mu\text{g/l}$) au niveau du forage ON₂₄.

Tous les sites montrent des teneurs très importantes, voire dangereuses en ce métal toxique qui dépassent de plusieurs fois la valeur admissible préconisées par l'OMS pour les eaux de boisson.

Tableau 10. Teneurs en cadmium dissous dans les eaux des forages de l'oued Nil.

Cadmium (Cd) dissous								
Stations forages	ON ₀₂	ON ₂₃	ON ₂₄	ON ₂₇	ON ₃₃	ON ₃₄	ON ₃₅	ON ₄₂
Concentrations ($\mu\text{g/l}$)	51,7	53,7	40,7	54,7	59,6	48,7	56,6	54,7
Normes OMS ($\mu\text{g/l}$)	3,0							

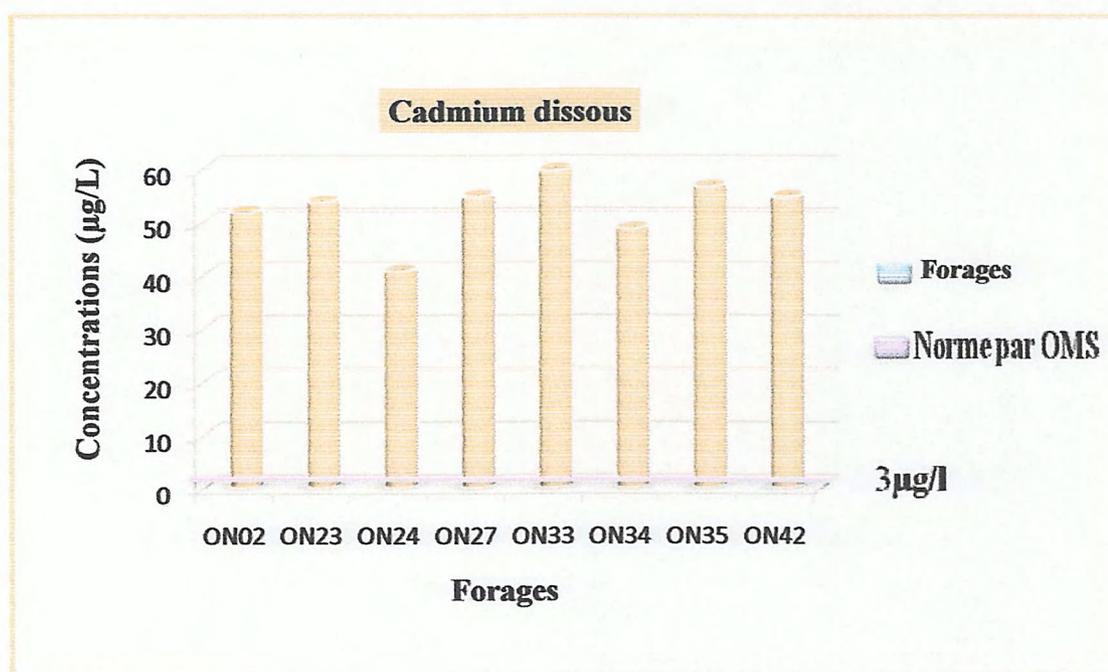


Figure 17. Teneurs en cadmium dissous dans les eaux des forages de l'oued Nil.

Les teneurs en cadmium dissous confirment les résultats précédents du cadmium total et montrent des dépassements graves de la norme de l'OMS fixée à (3.0 $\mu\text{g/l}$) de la forme biodisponible de ce métal, c'est le constat particulièrement de ON₂₇ et ON₄₂ (tableau10 et figure17).

La plus forte teneur en cadmium dissous ($59,6\mu\text{g/l}$) a été enregistrée au niveau du forage ON₃₃, alors que la plus faible teneur ($40,7\mu\text{g/l}$) est observée au niveau du forage ON₂₄.

I-2. Concentration du plomb dans les eaux des forages

Les tableaux (11 et 12) et les figures (18 et 19) présentent les concentrations du plomb sous ses deux formes, dissous et total dans les eaux des forages qui alimentent la ville de Jijel et du Taher en eaux potable :

Tableau 11. Teneurs en plomb total dans les eaux des forages de l'oued Nil.

Plomb(Pb) total								
Stations forages	ON ₀₂	ON ₂₃	ON ₂₄	ON ₂₇	ON ₃₃	ON ₃₄	ON ₃₅	ON ₄₂
Concentrations ($\mu\text{g/l}$)	234.9	234,9	163.4	224,6	296,1	224,6	275.7	122.5
Normes OMS ($\mu\text{g/l}$)	10							

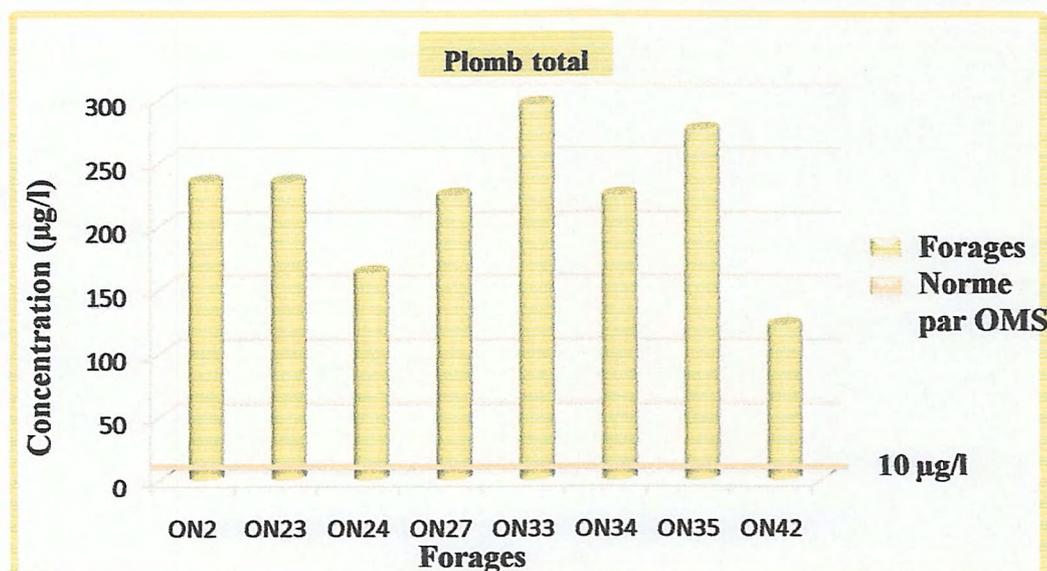


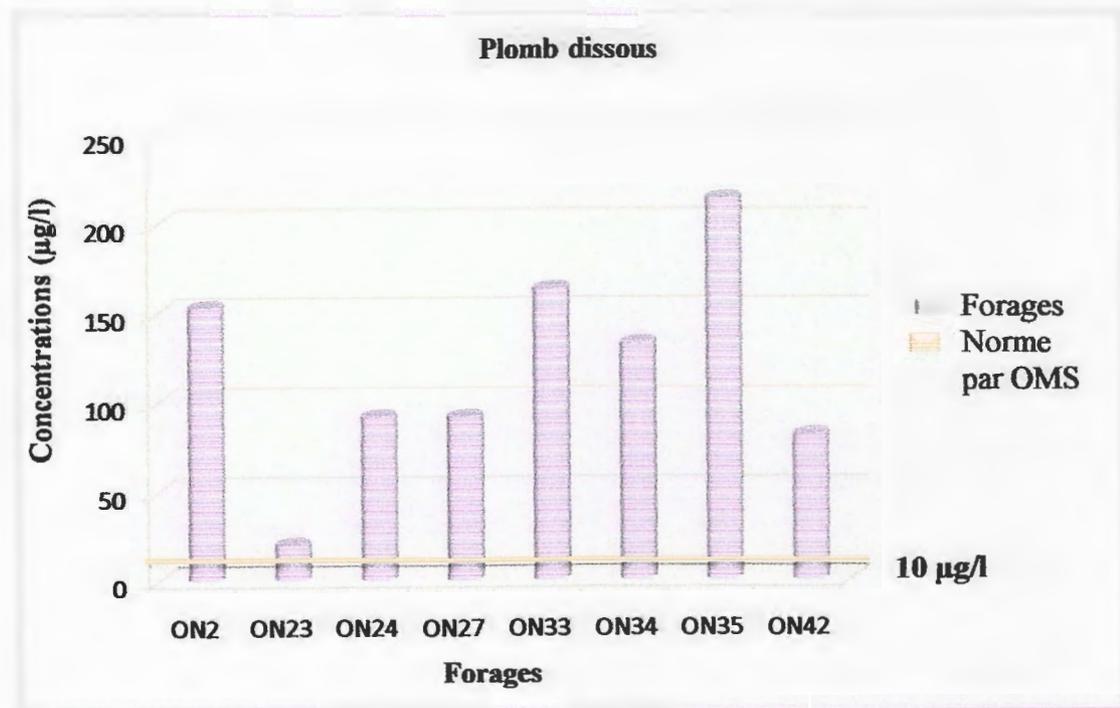
Figure 18. Teneurs en plomb total dans les eaux des forages de l'oued Nil.

Les eaux prélevées à partir des huit forages présentent des concentrations en plomb total très élevées et sérieusement inquiétantes en cet élément toxique (tableau 11, figures 18).

Un maximum de ($296,1\mu\text{g/l}$) a été enregistré dans les eaux du forage ON₃₃, et un minimum de ($122,5\mu\text{g/l}$) au niveau du forage ON₄₂. Ces concentrations dépassent de loin les valeurs admissibles recommandées par l'O.M.S ($10\mu\text{g/l}$).

Tableau 12. Teneurs en plomb dissous dans les eaux des forages de l'oued Nil.

Plomb (Pb) dissous								
Stations forages	ON ₀₂	ON ₂₃	ON ₂₄	ON ₂₇	ON ₃₃	ON ₃₄	ON ₃₅	ON ₄₂
Concentrations (µg/l)	153.2	20.4	91.9	91.9	163.4	132.7	214.4	81.7
Normes OMS (µg/l)	10							

**Figure 19.** Teneurs en plomb dissous dans les eaux des forages de l'oued Nil.

L'analyse du tableau 12 et de la figure 19 montre que les concentrations en plomb dissous dans les eaux des forages de l'oued Nil sont très variables d'un forage à l'autre malgré la situation géographique très rapprochée.

Les teneurs varient entre un minimum de l'ordre de (20,4 µg/l), signalé au niveau de ON₂₃, et un maximum de l'ordre de (214,4 µg/l) détecté dans le forage ON₃₅, pour les forages ON₂₄ et ON₂₇ les concentrations sont identiques (91,9 µg/l). Selon ces résultats la charge du plomb dissous biodisponible dans tous les échantillons d'eaux analysées, montre une richesse abondante en cet élément qui dépasse les normes conseillée par l'OMS.

I-3. Comparaison des résultats obtenus avec les normes des eaux souterraines

Les tableaux (13 et 14) comparent les teneurs obtenus en cadmium et en plomb et par rapport aux normes et critères de qualité pour les eaux souterraines, les cases ombragées indiquent les dépassements de ces valeurs :

Tableau 13. Concentrations du cadmium obtenues par rapport aux normes de qualité pour les eaux souterraines de consommation (MENV, 1998).

Forages	Concentrations du cadmium ($\mu\text{g/l}$)	Critères de qualité ($\mu\text{g/l}$) (MENV, 1998).	
		Eau de consommation	Eau souterraine
ON 02	54,7	5	2,1
ON 23	69,6	5	2,1
ON 24	41,7	5	2,1
ON 27	63,6	5	2,1
ON 33	72,6	5	2,1
ON 34	50,7	5	2,1
ON 35	66,6	5	2,1
ON 42	62,6	5	2,1

L'analyse par le spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA) montre que les valeurs de Cd biodisponible révélées dans les eaux des forages de l'oued Nil sont très élevées (tableau 13) et largement supérieures par rapport aux normes de qualité pour les eaux souterraines de consommation.

Tableau 14. Concentrations du plomb obtenues par rapport aux normes de qualité pour les eaux souterraines de consommation (MENV, 1998).

Forages	Concentrations du plomb ($\mu\text{g/L}$)	Critères de qualité ($\mu\text{g/L}$) (MENV, 1998).	
		Eau de consommation	Eau souterraine
ON 02	234.9	10	34
ON 23	234.9	10	34
ON 24	163.4	10	34
ON 27	224.6	10	34
ON 33	296.1	10	34
ON 34	224.6	10	34
ON 35	275.7	10	34
ON 42	122.5	10	34

L'analyse par le spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA) montre que les concentrations du plomb mesurées dans différentes forages de l'oued Nil sont très élevées et dépassent de loin les critères de qualité pour les eaux souterraines (tableau 14), ce qui indique que les eaux de ses forages sont fortement chargées en métaux.

II. Résultats de l'enquête exécutée

Les caractéristiques des participants telles que la source d'eau consommée, le sexe, l'âge, et le statut de fumeur sont présentées ci-dessous. Les pourcentages sont calculés par rapport au nombre total d'individus :

Tableau 15. Evaluation des caractéristiques des participants dans l'enquête exécutée.

		Pourcentages (%)
Source d'eau consommée	Eau de robinet	45.45
	Eau embouteillée	18.18
	Les deux sources à la fois	36.36
Sexes	Homes	54.54
	Femmes	45.45
Ages	18- 25 ans	09.09
	26- 34 ans	18.18
	35- 44 ans	27.27
	45- 55 ans	45.45
Statut de fumeur	Non fumeur	90.90
	Fumeur	09.09
Exposition	Environnementale	27.27
	Professionnelle	00.00
Prothèses	Amalgame dentaire	81.81

Selon les résultats obtenus durant l'enquête réalisée, montrée par le tableau ci-dessus, on note que les personnes âgées entre [45-55 ans] avec un pourcentage de (45,45 %) et les hommes (54,54 %) sont surreprésentés dans notre échantillonnage alors que les personnes âgées entre [18-44 ans] présentent un pourcentage bas de présentation (9,09 %, 18,18% et 27,27 %) respectivement.

L'examen du (tableau 15) permet de constater que les pourcentages des volontaires qui approvisionnent l'eau de robinet comme eau potable (45.45%) sont distingués par rapport à celle qui approvisionne l'eau de bouteille (18.18%) ou les deux sources à la fois (35.35%).

Pour éviter tout risque des erreurs dans notre travail on met en considération d'autre sources de contamination métallique du plomb et du cadmium comme le tabac (fumeurs ou non fumeurs), l'exposition environnementale, professionnelle et les amalgames dentaires avec des concentrations de (9,09 %, 90,90 %, 27,27%, 0% et 81,81%) respectivement.

II-1. Estimation de l'exposition aux ETM par ingestion d'eau des forages de l'oued Nil

Le tableau 16 résume les résultats de cette estimation :

Tableau 16. Evaluation des doses d'exposition aux métaux étudiés par ingestion d'eau des forages de l'oued Nil.

Volontaires	Doses d'exposition par ingestion d'eau de forages (mg/kg/jour)			
	Dose d'exposition de référence de plomb	Plomb	Dose d'exposition de référence de cadmium	Cadmium
V1	$3,57 \times 10^{-3}$	$2,35 \times 10^{-3}$	1×10^{-3}	$1,03 \times 10^{-3}$
V2	$3,57 \times 10^{-3}$	$1,97 \times 10^{-3}$	1×10^{-3}	$0,87 \times 10^{-3}$
V3	$3,57 \times 10^{-3}$	$2,21 \times 10^{-3}$	1×10^{-3}	$0,97 \times 10^{-3}$
V4	$3,57 \times 10^{-3}$	$2,24 \times 10^{-3}$	1×10^{-3}	$0,99 \times 10^{-3}$
V5	$3,57 \times 10^{-3}$	$2,61 \times 10^{-3}$	1×10^{-3}	$1,11 \times 10^{-3}$
V6	$3,57 \times 10^{-3}$	$2,15 \times 10^{-3}$	1×10^{-3}	$0,95 \times 10^{-3}$
V7	$3,57 \times 10^{-3}$	$1,58 \times 10^{-3}$	1×10^{-3}	$1,10 \times 10^{-3}$
V8	$3,57 \times 10^{-3}$	$2,08 \times 10^{-3}$	1×10^{-3}	$0,92 \times 10^{-3}$
V9	$3,57 \times 10^{-3}$	$2,08 \times 10^{-3}$	1×10^{-3}	$0,92 \times 10^{-3}$
V10	$3,57 \times 10^{-3}$	$2,81 \times 10^{-3}$	1×10^{-3}	$1,24 \times 10^{-3}$
V11	$3,57 \times 10^{-3}$	$2,57 \times 10^{-3}$	1×10^{-3}	$1,13 \times 10^{-3}$

Les doses de référence pour l'exposition par voie orale pour les principaux métaux et métalloïdes sont données dans le tableau 16.

Tableau 17. Doses d'exposition de référence par voie orale pour les métaux toxiques (USEPA, 2008).

Métaux	Doses d'exposition de référence par voie orale (mg métal/kg/j)
Arsenic	3×10^{-4}
Baryum	2×10^{-1}
Cadmium	1×10^{-3}
Chrome total (incluant chrome VI)	-
Cuivre	1×10^{-1}
Manganèse	$5,00 \times 10^{-3}$
Mercure inorganique	3×10^{-4}
Molybdène	5×10^{-3}
Nickel	2×10^{-2}
Plomb	$3,57 \times 10^{-3}$
Sélénium	5×10^{-3}
Zinc	1

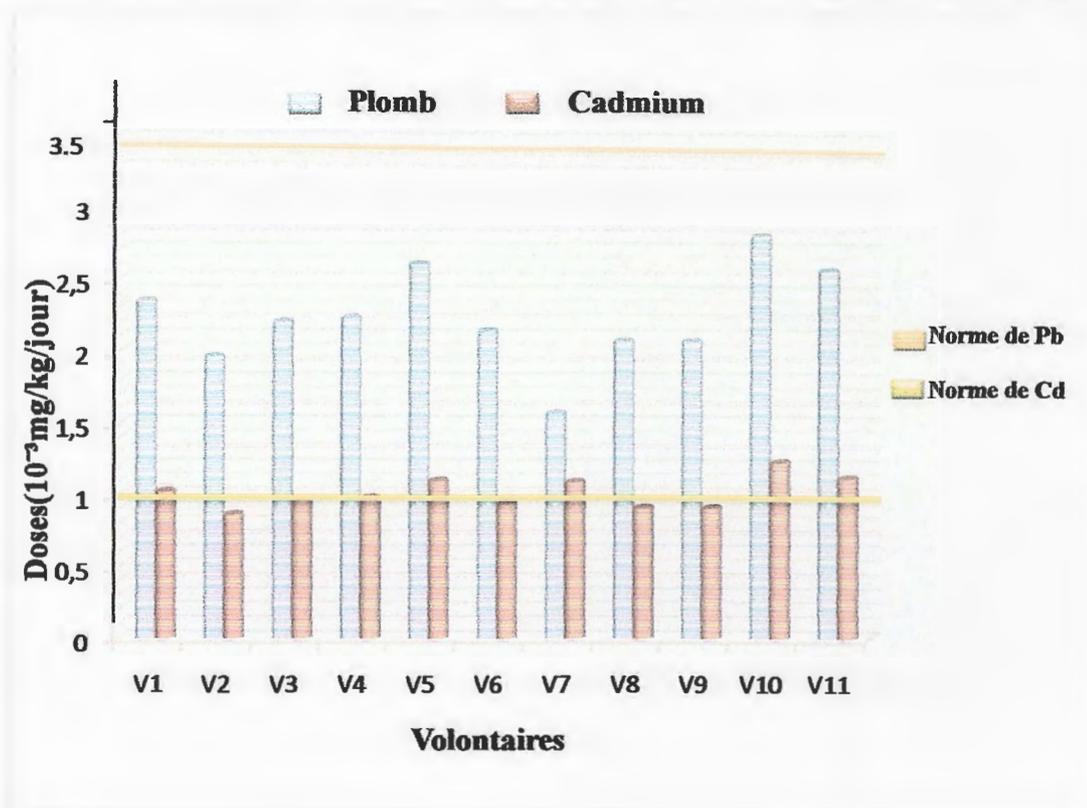


Figure 20. Evaluation des doses d'exposition par ingestion d'eau des forages de l'oued Nil.

Le tableau et la figure ci-dessus mettent en exergue une exposition réelle aux deux métaux toxiques (Cd et Pb) qui fluctuent significativement d'un volontaire à l'autre, dans le cas du plomb par exemple nous remarquons un maximum de 2.81×10^{-3} (mg/kg/jour) chez le volontaire V10 et un minimum de $1,58 \times 10^{-3}$ (mg/kg/jour) chez le volontaire V7.

Concernant les résultats du cadmium le volontaire V10 présente une valeur maximale de $1,24 \times 10^{-3}$ (mg/kg/jour), alors que la valeur minimale est de $0,87 \times 10^{-3}$ (mg/kg/jour) chez le volontaire V2, dont les cases ombragées indiquent le dépassement des doses d'exposition de références.

D'une manière générale, ces résultats nous permettent de conclure que les volontaires sont très exposés au plomb qu'au cadmium ce qui confirme les résultats de l'analyse chimique de l'eau (tableaux 10 et 12), parallèlement, l'évaluation des doses d'exposition par ingestion d'eau des forages de l'oued Nil justifie des concentrations très inquiétantes en plomb malgré qu'elles ne dépassent pas la valeur de référence, à l'opposé, un dépassement en cadmium très alarmant affecte la quasi-totalité des participants.

II-2. Résultats de dosage des ETM dans le sang

II-2-1. Concentrations en cadmium

Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau 18.

Tableau 18. Concentrations moyennes du cadmium \pm écarts types mesurées dans le sang.

		Pourcentage	Moyenne \pm écart type ($\mu\text{g/l}$)	Valeur minimale ($\mu\text{g/l}$)	Valeur maximale ($\mu\text{g/l}$)	Valeur de référence (Schulz et al, 2009)
Sources d'eau consommée	Eau de robinet	44.44%	0,328 \pm 0.082	0.229	0.427	0.3 $\mu\text{g/l}$
	Eau embouteillée	33.33%	0.238 \pm 0.055	0.199	0.278	0.3 $\mu\text{g/l}$
	Les deux Sources à la fois	22.22%	0.139 \pm 0.113	0.010	0.219	0.3 $\mu\text{g/l}$
Ages	26- 34 ans	22.22%	0.204 \pm 0.021	0.189	0.219	0.3 $\mu\text{g/l}$
	35- 44 ans	22.22%	0.144 \pm 0.189	0.010	0.278	0.3 $\mu\text{g/l}$
	45- 55 ans	55.56%	0.302 \pm 0.091	0.199	0.427	0.3 $\mu\text{g/l}$
Sexes	Hommes	55.56%	0.274 \pm 0.062	0.189	0.427	0.3 $\mu\text{g/l}$
	Femmes	44.44%	0.213 \pm 0.170	0.010	0.278	0.3 $\mu\text{g/l}$
Etas de fumer	Non fumeur	88.89%	0.241 \pm 0.124	0.010	0.348	0.3 $\mu\text{g/l}$
	Fumeur	11.11%	0.427	-	-	0.3 $\mu\text{g/l}$

❖ (-) Pas de valeur maximale et minimale.

Selon les résultats obtenus, nous constatons que les teneurs en cadmium dans le sang des volontaires varient selon le statut (source d'eau consommée, sexes, âges...).

En effet, la moyenne des concentrations en cadmium dans le sang des participants qui consomment l'eau de robinet comme source d'eau potable est (0,328 $\mu\text{g/l}$) avec un écart type de (0,082), et présente un maximum de (0.427 $\mu\text{g/l}$) et un minimum de (0,229 $\mu\text{g/l}$).

Alors que nous signalons une concentration maximale de (0.278 $\mu\text{g/l}$) et une concentration minimale de (0.199 $\mu\text{g/l}$) avec une moyenne de (0,238 $\mu\text{g/l}$) avec un écart type de (0,055), chez les participants qui s'approvisionnent en eau embouteillée. Selon le sexe, les concentrations sont plus élevées chez les hommes qui présentent une moyenne de (0,274 $\mu\text{g/l}$) avec un écart type de (0, 062), tandis que, les femmes présentent une moyenne de (0,213 $\mu\text{g/l}$) avec un écart type de (0.170), en ce qui concerne l'âge, plus il augmente, plus la concentration du métal augmente.

II-2-2. Concentrations en plomb

Les concentrations trouvées sont exposées au tableau suivant :

Tableau 19. Concentrations moyennes du plomb \pm écarts types mesurées dans le sang.

		Pourcentage	Moyenne \pm écart type ($\mu\text{g/l}$)	Valeur minimale ($\mu\text{g/l}$)	Valeur maximale ($\mu\text{g/l}$)	Valeur de référence ($\mu\text{g/l}$) (Schulz <i>et al</i> , 2009)
Sources d'eau consommée	Eau de robinet	44.44%	36.24 \pm 2.093	21.44	52.08	35
	Eau embouteillée	33.33%	34.83 \pm 2.180	06.13	51.05	35
	Les deux Sources à la fois	22.22%	29.16 \pm 1.871	09.19	51.05	35
Ages	26- 34 ans	22.22%	29.16 \pm 1.871	09.19	45.95	35
	35- 44 ans	22.22%	36.24 \pm 2.093	21.44	51.05	35
	45- 55 ans	55.55%	34.71 \pm 2.169	06.13	52.08	35
Sexes	Hommes	55.55%	36.96 \pm 1.944	06.13	52.08	35
	Femmes	44.44%	28.84 \pm 1.786	09.19	51.05	35
Etas de fumer	Non fumeur	88.88%	31.01 \pm 1.781	06.13	51.05	35
	Fumeur	11.11%	52.08	-	-	35

❖ (-) Pas de valeur.

D'après les résultats du tableau 19, on note que le pourcentage des participants qui utilisent l'eau de robinet comme eau potable ont une concentration moyenne de 36,24 $\mu\text{g/l} \pm 2.093$ sont légèrement supérieur à celle qui utilisent l'eau embouteillé 34,83 $\mu\text{g/l} \pm 2.180$, tandis que les valeurs de consommateurs des deux sources à la fois sont situés entre les valeurs précédentes, on observe aussi que les teneurs sont remarquables chez les hommes et les personnes âgés.

II-3. Résultats de dosage des ETM dans les urines

II-3-1. Concentrations en cadmium

Tableau 20. Concentrations moyennes du cadmium \pm écarts types mesurées dans les urines.

		Pourcentage	Moyenne \pm écart type ($\mu\text{g/l}$)	Valeur minimale ($\mu\text{g/l}$)	Valeur maximale ($\mu\text{g/l}$)	Valeur de référence ($\mu\text{g/l}$) (Schulz et al, 2009)
Source d'eau consommée	Eau de robinet	50%	0.641 \pm 0.035	0.616	0.666	0,2
	Eau embouteillée	50%	0.611 \pm 0.007	0.606	0.616	0,2
Sexes	Hommes	25%	-	0.666	0.666	0,2
	Femmes	75%	0.612 \pm 0.005	0.606	0.616	0,2
Etats de fumer	Non fumeur	100%	0.641 \pm 0.027	0.606	0.666	0,2
	Fumeur	0%	-	-	-	0,2

❖ (-) Pas de valeur.

D'après ces résultats, nous constatons que la concentration maximale chez les participants qui s'approvisionnent en eau de robinet comme eau potable est de (0,666 $\mu\text{g/l}$) et une valeur minimale de (0,616 $\mu\text{g/l}$), avec une moyenne de (0.641 $\mu\text{g/l}$) et un écart type de (0.035), alors qu'on remarque une valeur maximale de (0,616 $\mu\text{g/l}$) et une valeur minimale de (0,606 $\mu\text{g/l}$) avec une moyenne géométrique de (0.611 $\mu\text{g/l}$) et un écart type de 0.007 chez les participants s'approvisionnant en eau embouteillée comme eau potable, on ce qui concerne les femmes on note une moyenne de (0.612 $\mu\text{g/l}$) avec un écart type de 0.005, les mêmes résultats sont observées chez les volontaires non fumeurs la moyenne obtenu est de (0.641 $\mu\text{g/l}$) avec un écart type de 0.027.

II-3-2. Concentrations en plomb

Les résultats obtenus sont exposés dans le tableau 22 :

Tableau 21. Concentrations moyennes du plomb \pm écarts types mesurées dans les urines.

		Pourcentage	Moyenne \pm écart type ($\mu\text{g/l}$)	Valeur minimale ($\mu\text{g/l}$)	Valeur maximale ($\mu\text{g/l}$)
Source d'eau consommée	Eau de robinet	50%	32.67 \pm 1.010	25.53	39.82
	Eau embouteillée	50%	14.80 \pm 0.505	11.23	18.38
Sexes	Hommes	25%	-	-	-
	Femmes	75%	18.38 \pm 0.715	11.23	25.53
Etats de fumer	Non fumeur	100%	23.74 \pm 1.220	11/23	3.982
	Fumeur	0%	-	-	-

❖ (-) Pas de valeur.

Le tableau 21 montre que le pourcentage des volontaires qui s'approvisionnent de l'eau de robinet comme eau potable est équivalent au pourcentage à ceux qui s'approvisionnent de l'eau embouteillée (50 %) mais avec une moyenne et un écart type différent (32.67 \pm 1.010) et (14.80 \pm 0.505) respectivement.

III. Résultats de dosage du glutathion

L'évaluation des taux du glutathion (GSH) dans le sang des volontaires sont représentés dans le tableau 22.

Tableau 22. Variation des concentrations de GSH sanguin

	V1	V2	V3	V4	V5	Valeur de référence (Courtelle <i>et al</i> ,1996)
Concentration du GSH (Mm/l du sang)	0.145	0.387	0.854	1.790	0.516	0.91 à 1.37 Mm/l

Les résultats obtenus dans le tableau ci-dessus montrent une certaine variabilité des concentrations de GSH d'un volontaire à l'autre.

IV. Discussion

La qualité de l'eau de boisson est au cœur de l'actualité sociale et médiatique et les risques véhiculés par l'eau représentent une préoccupation planétaire par ses constituants microbiologiques et chimiques (WHO, 1992). De plus, il apparaît aujourd'hui que la présence des ETM dans l'eau a une grande importance car ils peuvent constituer un sérieux problème de santé publique du fait de leur grande toxicité et de leur caractère bioaccumulatif (Gardas, 2000).

C'est dans cette vision que nous nous sommes intéressés, dans la première partie de notre travail, à l'évaluation de degré de contamination métallique des eaux des forages du bassin versant d'oued Nil par des mesures chimiques. Les présents résultats mis en évidence un profil de concentration très élevé des deux métaux cibles de l'étude, le plomb et le cadmium, dans tous les sites retenus sous ces deux formes : totales et dissoutes (tableaux 10, 11, 12 et 13). Ceci traduit une contamination des sources d'eau de la ville de Jijel, dont les teneurs dépassent de loin quelque soit les normes préconisées par l'OMS (tableau 2) ou les critères de qualité pour les eaux souterraines (tableau 3).

Au regard de l'ensemble des résultats obtenus, ces dépassements majeurs des critères de qualité des eaux potables peuvent avoir des origines naturelles et ne sont pas dues uniquement à des activités humaines, justifiées probablement par les provinces géologiques du fond pédogéochimique.

Plusieurs cas similaires ont été publiés dans le monde entier. Une étude de Brisebois (2010) souligne des teneurs naturelles très levées en cadmium (valeurs jusqu'à 130 µg/l par rapport à 5 µg/l) et en plomb (valeurs jusqu'à 560 µg/l par rapport à 10 µg/l) en Esrie-Montérégie (Canada).

Néanmoins, la source de contamination métalliques des eaux n'est pas uniforme, ces concentrations élevées apparaissent fort probablement influencées par la présence d'une ancienne mine située au niveau de la source de l'oued Nil à Ain Tizi au niveau des montagnes de « Chahna » au sud du Taher aussi, à l'existence d'une ancienne décharge publique au niveau de l'oued Boukaraa, un des affluents les plus importants de l'oued Nil.

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

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

D'après nos résultats, l'évaluation des doses d'exposition par ingestion d'eau des forages de l'oued Nil révèle des concentrations très inquiétantes en plomb malgré qu'elles ne dépassent pas la valeur de référence, à contrario, un dépassement en cadmium très alarmant affecte la quasi-totalité des participants, ces résultats confirment les graves risques sanitaires auxquels sont confrontés les consommateurs des eaux des ces forages par accumulation de ces deux métaux toxiques dans leurs organes.

Le niveau de cadmium trouvé dans le sang de l'ensemble des participants présentent des concentrations détectables pour la totalité des participants et supérieurs à la valeur de référence pour les consommateurs de l'eau de robinet, les personnes âgées et les fumeurs, ce qui confirment la contamination métalliques des eaux des forages et les doses d'exposition par ingestion de ces eaux. Toutefois, les autres classes des volontaires montrent des concentrations inférieurs à la valeur de référence citée dans la littérature scientifique (**Bernard et al, 1984**).

Le même constat est signalé pour les niveaux du cadmium dans les urines. Une étude marocaine réalisée sur 377 habitants de Rabat décèle un niveau supérieur à celui trouvé dans notre étude [$0.641 \pm 0.035 \mu\text{g/l}$], estimé de l'ordre de $1,1 \pm 0,7 \mu\text{g/l}$ (**Khassouani et al, 2000**). Les résultats obtenus sont considérés comme une sonnerie d'alarme pour les consommateurs des eaux des forages sur les risques sanitaires éventuels d'une telle exposition chronique. Par ailleurs les résultats des personnes âgées confirment cette hypothèse. Les faibles niveaux sanguins détectés pour les autres classes des participants par rapport aux doses d'exposition peuvent être expliqués par le faible pourcentage d'absorption de ce métal par ingestion qui varie entre 5 et 10 %. En outre, une fois absorbée, 40 à 80 % du cadmium s'accumule dans le cortex rénal et le foie (**Bernard, 1992**).

Le pourcentage excrété par jour est estimé 0,001 % de la concentration présente dans l'organisme (**Klaassen, 2008**), la demi-vie biologique du cadmium est comprise entre 10 et 35 ans. Près de 95 % seront éliminés par la voie fécale et seulement moins de 5 % par voie urinaire (**Reichl, 2004**).

Le nombre limité des volontaires, dont 90,90 % sont des non fumeurs, a constitué une entrave pour l'observation des différences significatives entre les fumeurs et les non fumeurs.

Néanmoins, des différences relativement remarquables ont été décelées entre les consommateurs des eaux de robinet et les consommateurs des eaux embouteillées, il est fort probable que la deuxième catégorie des participants ne consomme pas les eaux embouteillées d'une manière régulière et permanente. Un autre point, nous avons enregistré les valeurs maximales chez les sujets âgés, ce qui est normal, le cadmium étant accumulé avec le temps dans l'organisme.

Les concentrations gravement élevées en plomb détectées dans le sang et les urines de tous les participants sont en parfaite corrélation avec les concentrations détectées dans les eaux de forages où on a constaté des différences des niveaux entre les consommateurs d'eau de robinet canalisées à partir des forages et les consommateurs des eaux embouteillées. On a remarqué également des différences entre les hommes et les femmes. Les hommes présentent des teneurs plus élevées fort probablement à cause des prothèses source de relargage de ce métal dans l'organisme

L'étude de Khassouani *et al* (2000) montre des teneurs supérieures à celles trouvés dans notre étude. Selon cette dernière, la population marocaine montre une teneur moyenne estimée de $93,6 \pm 51,7 \mu\text{g/l}$. cette étude a signalée que la plombémie des hommes est de $92,9 \pm 51,7 \mu\text{g/l}$, plus élevée que celle des femmes $80,9 \pm 32,6 \mu\text{g/l}$.

Le glutathion est naturellement présent à l'intérieur de pratiquement toutes les cellules de notre organisme. C'est le régulateur et le régénérateur des cellules immunitaires et l'agent détoxifiant le plus efficace de l'organisme humain. La concentration intracellulaire en glutathion est considérée par certains auteurs comme un véritable marqueur de l'état de santé d'un individu (Richie *et al*, 1996).

Les valeurs obtenues par notre analyse montrent des teneurs en GSH remarquablement inférieures à celles considérées de référence trouvées chez des personnes jugées non exposées aux métaux mentionnées dans la littérature scientifique. Par ailleurs, une étude de (Courtelle *et al*, 1996) portée sur l'analyse du glutathion par trois méthodes analytiques différentes montrent des teneurs situées dans un intervalle de $0,91 \pm 0,04 \text{ mM}$ à $1,37 \pm 0,08 \text{ mM}$.

On se référant à cette étude, les valeurs obtenues montrent une sensible diminution (de 0.145 à 1.790) dans les concentrations sanguines en GSH pour la quasi-totalité des participants. Cette diminution peut être justifiée par la fonction accomplie par le GSH dans l'organisme en cas d'intoxication par les métaux notamment, où il réduit le peroxyde d'hydrogène en eau et des peroxydes de type ROOH, ainsi que par la complexation avec les ions métalliques via son groupement thiol SH.

Ces résultats confirment donc ceux obtenus par dosage des métaux dans le sang et les urines et mettent l'accent sur un grave risque sanitaire pour la population consommatrice de l'eau contaminée.

Conclusion et perspective

Conclusion

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

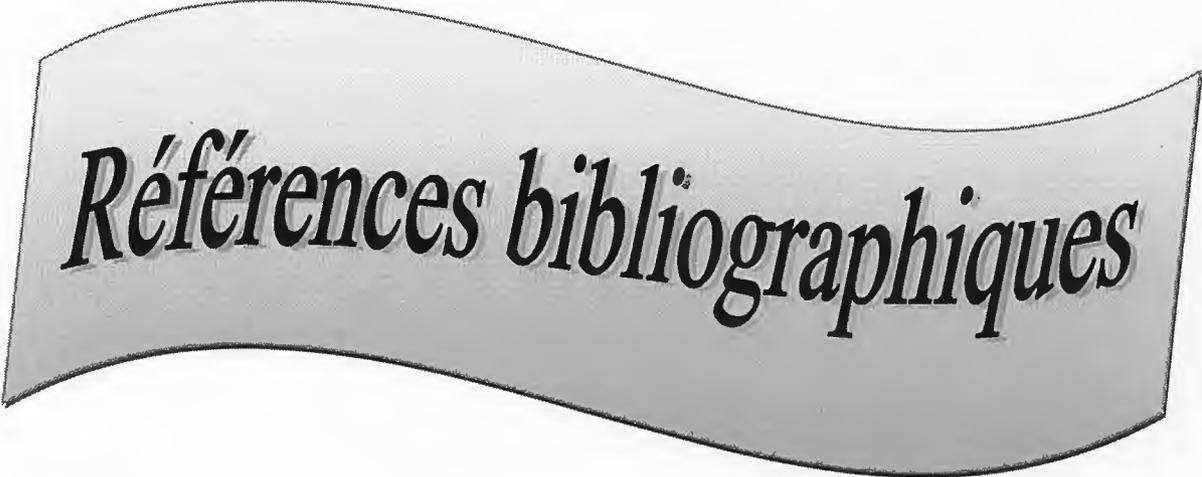
Les objectifs définis, lors de la mise en place de cette étude étaient de deux volets. Le premier visait à évaluer l'état de contamination par le plomb et le cadmium des eaux des forages du bassin versant de l'oued Nil, servant à l'alimentation des citoyens de la ville de Jijel et la région de Taher. Le deuxième volet portera une évaluation préliminaire des risques sanitaires liés à l'exposition aux ETM via l'ingestion des eaux par dosage de ces derniers dans le sang et les urines et par évaluation d'un paramètre représentatif du statut du stress oxydant: le glutathion.

La présente étude a permis de mettre au point la présence de concentrations très élevées en plomb et en cadmium qui dépassent de loin les normes requises. Ces dépassements majeurs des critères de qualité des eaux potables peuvent avoir des origines naturelles et anthropiques.

L'analyse toxicologique, du sang et des urines, montre des teneurs significativement élevées en métaux étudiés par comparaison aux valeurs de références citées par certains auteurs chez les personnes jugées non exposées, aussi, les concentrations du glutathion total indiquent la présence d'une activité pro oxydante.

Les résultats obtenus dans ce travail permettent d'envisager de nouvelles perspectives pour les études futures :

- Faire des études géologiques plus approfondies sur le rôle du fond géochimique de la région dans l'enrichissement des eaux souterraines en ETM.
- De faire une étude toxicologique approfondies sur l'impact de ces métaux sur la santé humaine par l'utilisation d'un nombre des volontaires suffisants et de tenir en compte de l'âge des participants, nombre équivalent entre les deux sexes (hommes et femmes), . . .etc.
- Enfin, une suite possible à donner à ce travail serait de réaliser une étude chronique de l'activité pro oxydante de la pollution polymétallique de l'eau. Le temps d'exposition est un paramètre clef dans la détermination de la toxicité.



Références bibliographiques

A

Agence National des Réserves Hydriques de la willaya de Jijel (ANRH), 2012.

Anctil F., Rousselle J., Lauzon N., 2005. Hydrologie cheminement de l'eau .Préface de van diem hoang. Canada. 317p.

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, vol : 441p.

Association française de normalisation (AFNOR), 1997.Qualité de l'eau. Tome 1 : Terminologie, échantillonnage et évaluation des méthodes. 2ème édition . AFNOR. Paris. 376 p.

B

Baize D., 1997. Teneurs en éléments traces métalliques dans les sols (France) : Références et stratégies d'interprétation. INRA Editions. Paris. 408 p.

Ballerini D., Gatelier C.,Vogel T., 1998. Techniques de traitement par voies biologiques des sols pollués. ADEME .246p.

Beliefert C., Perraud R., 2001. Chimie de l'environnement. Air, eau, sol, déchets. 1^{ière} édition. ISBN. 477p.

Belliles R.P., 1994.The metals. In Clayton G.D. Clayton F.E. Patty's Industrial hygiene and toxicology.4rd edition, vol:2. Part C. New York. John Wiley& sons, p 2065- 2087.

Bernard A., Lauwerys R., 1984. Cadmium inhuman population.Experientia; 40:14352.

Bernard A., 1992. Encyclopédie médico-chirurgicale : Cadmium. S.G.I.M. Les Martres de Veyre. Paris (16-002-B-30). p 4.

Biney Ch., Amazu A.T., Calamari D., Kaba N., Mbome I.L., Naeve H., Chumba O., Osibanjo O., Radegonde V., Massad A.H.S., 1991. Etude des métaux lourds présents dans l'environnement aquatique africain. Rapport de la troisième session du groupe de travail sur la pollution et les pêches Accra. Ghana. P25-29.

Bisson M., Hulot C., Lacroix G.,Lefèvre J.P., Magaud H., Oberson-Geneste D.,Morin A., Pépin G., 2003. Plomb et ses dérivés. P90.

Blanquet J.P., Bonnomet V., Coquery A., Gaudillot A., Gondelle F., Houeix N., Le goff F., 2004. Devenir et comportement des métaux dans l'eau. Biodisponibilité et modèles BLM. Rapport technique de ministère de l'écologie et du développement durable. Direction de l'eau. P 87-87.

Blum A., 2004. L'état des eaux souterraines en France : aspects quantitatifs .Ifen édition. France. P 6-8.

Bodek I., Lyman W., Reehi W., Resenblatt D., 1988. Environmental inorganic chemistry : Properties, process and estimation méthodes. SETAC spécial publications séries. New York, pergamon press.

Boeglin J., 1999. Contrôle des eaux douces et de consommation humaine. [Doc. P 4 210].

Bravard J.P., 2002. Les cours d'eau. 2^{ème} édition. ARMAND. Paris. 221p.

Brokaert J.A. C., 2005. Analytical Atomic Spectrometry with Flames and Plasmas. 2^{ème} édition. Revue et augmentée. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Weinheim (Federal Republic of Germany). 414p. ISBN: 978-3-527-31282-5.

Burgot G., Burgot J.L., 2002. Méthodes instrumentales d'analyse chimique et application. Méthodes chromatographiques, électrophorèse et méthodes spectrales tec & doc. 306 p.

Burnet S., 1999. Vue sur les mécanismes de contrôle hépatique suite au stress peroxydatif induit par le fer. Thèse de doctorat, univ de Montréal. Vol : 176. P 20-36.

C

Casas S., 2005. Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus Galloprovincialis* en milieu méditerranéen.

Castany G., 1979. Principes et méthodes de l'hydrologie. Édition DUNOD. Paris. P 33-35.

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, univ de Lyon. P 189.

Chiffolleau J.F., Gonzalez J.L., Miramand P., Thouvenin B., 1999. Le cadmium: Comportement d'un contaminant métallique en estuaire. Programme scientifique Seine- Aval P 10 -31.

Chiffolleau J.F., 2001. La contamination métallique. 40p.

Collin J., 2004. Les eaux souterraines connaissance et gestion. 1^{ière} édition. Hermann BRGM. 170 p : 25-27.

Copaux H.E., Perpérot H., 1925. Chimie minérale : description des éléments chimiques et leurs propriétés. Armand colin. Paris. Tome I. 202 p.

Coquery M., Magaud H., Bonnomet V., Le Goff F., Monet P., 2004. Analyse critique des méthodologies pour la détermination et l'application de normes de qualité environnementale pour les métaux. Rapport de synthèse de Ministère de l'écologie et du développement durable. Direction de l'eau. INERIS. 28p.

Cossa D., Elbaz P.F., Gnassia B.M., Roméo M., 1993. Le plomb en milieu marin. Biogéochimie et écotoxicologie. Edition Ifremer. Plouzané. France. 77p.

Courtelle C., Lindenbaum A., Belleville N.F., 1996. Méthodes de dosage du glutathion dans les milieux biologiques. *Option/Bio*. 48 : S1-12.

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. 437p : 25-32.

D

Defranceschki M., 1996. L'eau dans tous ses états. Edition Ellipses. Paris.

Desboeuf K., 2004. Processus de dissolutions des aérosols atmosphériques au sein de gouttelettes nuageuses. Thèse de doctorat, univ de Paris I. 232p.

Devez A., 2004. Caractéristique des risques induits par les activités agricoles sur les écosystèmes aquatiques. Thèse de doctorat, école nationale du génie virale des eaux et des forêts. P : 15-20.

Direction des services agricoles ., 2007. L'agriculture par les chiffres. Wilaya de Jijel.

Direction de planification et suivi budgétaire (DPSB) ., 2011. Annuaire statistique de Jijel

Duffus J., 2001. Heavy Metals «A meaningless term.Chemistry International». P 23.

Dussart B.,1999. Limnologie: l'étude des eaux continentales. Gautier-villars. Paris. P 636-636.

Duval C., Duval R., 1978. Dictionnaire de la chimie et de ses applications.3ème édition. TEC & DOC. P 1087- 1978

E

Ellman G., 1959. Plasma antioxydants. Arch Biochem Biphys, 82 :70-77.

Environmental Protection Agency – Agence américaine pour la protection de

l'environnement (EPA) Fiche plomb. , 1999. Monographies des polluants. p 234-254.

G

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. 192p.

Gélard J.P., 2005.L'eau source de vie: source de conflits. Le MANS édition. Pas de lieu. 283p.

Gérard G., 1999.Un point sur l'eau, usage et polluants (tome II), INTRA édition .Paris. P 133-194.

H

Huss J., 2011. Les risques sanitaires des métaux lourds et d'autres métaux. Pas d'édition. Luxembourg. P 4-13.

I

ISO., 2003. Qualité de l'eau: échantillonnage. Partie3: Lignes directrices pour la conservation et la manipulation des échantillons d'eau. Suisse : ISO 5657-3.

J

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. 265p.

Jumarie C., Fortin C., Houde M., Campbell P., Denizeau F., 2001. Cadmium uptake by coco-2-cells: Effects of Cd complexation by chloride, glutathione and phytochelation. Toxicol.Appl.Pharmacol. P 29-38-170.

K

Kakkar P., Jaffery F.N., 2005. Environmental Toxicology and Pharmacology. P 19-335-349.

Khassouani C.E., Soulaymani R., Mauras Y., Allain P., 2000. Blood cadmium concentration in the population of the Rabataarea, Morocco. Clinica Chimica Acta. P 155-160.

Kidouch H., Malouti Z., 1991. Etude géologie et géochimique de l'indice polymétallique à (Pb Zn Cu Fe Ba) de Tiri-Jijel-Algerie. P 120-120.

Klassen C.D., 2008. Casarett and Doull's toxicology: the basic science of poisons. 7^{ème} édition, New York, McGraw Hill, 1497p.

Koscielniak P., Piekoszewski W., 2002. Chemia Sadowa (Eds). Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sadowych : Krakow.

Kozłowska K., ZPolkowska A., Przyjazny J.N., 2003. Analytical procedures used in examining human urine samples. Polish Journal of Environmental Studies Vol. 12. P 5-503-521.

Kunnath S.S., 1996. Determination of metals in biofluids and tissues: sample preparation methods for atomic spectroscopic techniques, Spectrochimica Acta Part B 51. P 291-319.

L

Lapreche V., Dictor M.C., Clozel B., Baranger P., 2004. Guide méthodologique du plomb appliqué à la gestion des sites et des sols pollués : Rapport final. BRGM/RP. 138p.

Lauglin M.C., Sigh B.R., 1999. Cadmium in soils and plants. Rlewer Academic Publishers. Dordrecht, Netherlands. 273p.

Leemans M., Bellon J., Bovy C., Braun M., 2002. Livre bleu. 2^{ème} édition. Berlin.72P.

Le floche M., 2004. Caractérisation physicochimique et traçage des émissions particulières métalliques s'une usine d'incinération d'ordures ménagées dans l'air ambiant, exemple de l'UIOM de Toulon (Var, France). Thèse de doctorat, univ de Droit, d'Economie et des sciences d'Aix- Marseille III. 366 p : 30-31-52.

Le pape H., 2003. Etude des propriétés germicides des fibres de carbones active : application à la décontamination de l'air en cabine de l'avion. Thèse de doctorat, univ de Limoges. 208p.

Links J.M., Schwartz B.S., Simon D., Bandeen R. K., Stewart W.F., 2001. Characterization of toxicokinetics and toxicodynamics with linear systems theory: application to lead-associated cognitive decline. Environ. Health Perspect. P 109-361-368.

M

Manlius N., Battaglia B.F., Michel C., 2009. Pollution des eaux par l'arsenic et acceptabilité des procédés de biotraitement. BRGM/RP-57640-FR. 173 p.

Martignon M., 2007. Arsenic, plomb et cadmium de l'environnement jusqu'au lait , un risque pour la santé humaine. Mémoire bibliographique de l'étude : « Tansport digestif des Eléments Traces Métalliques (arsenic, cadmium, plomb) chez la vache laitière». Ecole doctorale vétérinaire INPENSAT. Toulouse.

Meeus V.K., Scokart P.O., Deborger R., 1986. Revue de l'agriculture 4 (39). P 801-816.

Meybeck M., 1987. Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads. America Journal of Science. P 287-401- 428.

Ministère de l'environnement (MENV),, 1998. Direction des politiques du secteur industriel. Politique de protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés. Québec. 124 p.

Ministère de la Santé et des Services Sociaux (MSSS),, 2002. Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique pour la santé humaine dans le cadre de la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement et de l'examen des projets de réhabilitation de terrains contaminés. Québec, 84P.

Miquel G., 2001.Rapport sur:«Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé ». Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques.365p.

N

Nriagu J.O., Pacyna J.M., 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. Nature 333: p134-139.

Nicoleau R., 2005. Caractérisation et quantification des transferts dus aux petites rivières côtières méditerranéennes. Thèse de doctorat, unv de Toulouse.198p.

O

Office National de Météorologie (ONM) ., 2011. Station météo de Jijel aéroport.

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. 376p.

OMS., 2004. Directive de la qualité de l'eau de boisson : 3 ème édition. Voll : recommandations OMS. Genève.

P

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

Panfili F., 2004. Etude de l'évolution de la spéciation du zinc dans la phase solide d'un sédiment de curage contaminé induit par phytostabilisation. Thèse de doctorat, école doctorale : Biosciences de l'environnement chimie et santé. 299p.

Pichard A., 2003. Plomb et ses dérivés. Fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. ERIS- DRC.90p

Picot C., 1999. Intoxication de l'organisme par les métaux lourds et autres toxiques : le mercure, le plomb et cadmium trois métaux toxiques. Conférence ADNO. Paris.

Pillet S., 2001. Evaluation du risque immuotoxicologique lié à l'exposition au cadmium chez les phoques gris. Thèse de doctorat, univ de Liège. 334p.

Plante R., Benedetti, J.L., 1998. Définition d'une maladie à déclaration obligatoire ou d'une intoxication et d'une exposition significative : le plomb. Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels. 62p.

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

Q

Quémerais B., Cossa D., 1997. Procedures for sampling and analysis of mercury in natural water. Rapport scientifique et technique. 31 édition. Centre ST Lourent.

R

Ramade F., 1993. Dictionnaire encyclopédiques des éléments écologiques des sciences de l'environnement. Ed .Science internationale. 822p.

Reichl F.X., 2004. Guide pratique de toxicologie. Bruxelles. De Boeck Université. 348 p.

Richie J.P., Abraham P., Leutzinger Y., 1996. Long-term stability of blood glutathione and cysteine in humans. *Clin Chem* 42 : 1100-5.

Ricoux C., Gasztowtt B., 2005. Evaluation des risques sanitaires liés à l'exposition de forts consommateurs de produits de la pêche de rivières contaminées par des toxiques de l'environnement. InVS. 124p.

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

Rodier J., 2005. Analyse de l'eau naturelle et des eaux résiduaires, et eaux de mers. 8^{ième} édition. DUNOD. Paris.

Roesijadi G., 1994. Metallothionin induction as a mesure of response to metal exposure in aquatic animals. *Environ. Health. Perspect.* 102 p 91-95.

Ross H., 1999. Léau et santé publique. Bureau d'audiences publiques sur l'environnement. 37p.

Rousselot D.B., Peynet J., Beaudoux J.L., Théron P., Le grand A., Delath J., 2007. Stress oxydant, fonctions vasculaires et athéroscléroses. *Nutrition clinique et métabolisme.* 267p 16-260.

S

Salamon S.W., Frostener U., Maderb P., 1995. Heavy metals: problems and solution. Edition. Brelne germany Springer I verlage.

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

Schulz C., Angerer J., Ewers U., Heudorf U., Wilhelm M., 2009. Revised and new reference values for environmental pollutants in urine or blood of children in Germany derived from the German Environmental Surveyon Children2003-2006(GerESIV). *International Journal of Hygiene and Environmental Health: Int.J.Hyg. Environ. Health* 212 (2009)637647.

Silvestre F., 2005. Réponse à un stress environnemental induit par le cadmium chez un crustacé euryhalin : *Ericheir Sinensis*. Approche intégrative incluant une analyse de protéine. Thèse de doctorat, univ de Notre dame de la paix. 72p.

Smets H., 2005. Pour un droit effectif à l'eau potable. Académie de l'eau. ALESN; Nanterre. 142p.

Stohs S.J., Baghi D., 1995. Oxidative mechanisms in the toxicity of métal ions. *Free Radic Biol Med.* 321p 18-36-322.

T

Tardy Y., 1986. Le cycle de l'eau. Masson. Paris. 338 p.

U

UNESCO., 2003. L'eau pour les hommes, l'eau pour la vie. Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau. P 36.

United States Environmental Protection Agency (USEPA)., 2008 sauf ministère de l'Environnement et de la Faune (MEF)., 1996.

V

Valco M., Pihodes J.C., Moncol J., Izatovic M., Mazur M., 2006. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress induces cancer. *Chemico-Biological Interactions*. 1601-40.

Vandevenne Z., 1982. Gestion des eaux usées urbain et industriel. Edition Gauthier Villars. Paris. 821p.

W

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

WHO., 1992. World Health Organization: our planet, our health. Genève. 282p.



Annexes

Annexe 1

1-Fiche d'information sur les conditions d'échantillonnage

Nom des sites retenus : <ul style="list-style-type: none"> • Forages de l'oued Nil (ON02, ON23, ON24, ON27, ON33, ON34, ON35, ON42) 	Heure : 09:30
Conditions météo : <ul style="list-style-type: none"> • Pluie faible • Vent faible • ciel nuageux. Température : 15 C°	Type de conditionnement : <p>Totaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acidification avec 3ml d'acide nitrique concentré HNO₃ (65%). • Filtration sous vide. <p>Dissous :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Filtration sous vide. • Acidification avec 3ml d'acide nitrique concentré

2- Fiche d'information sur le prélèvement du sang et urines :

Lieu de prélèvement : <ul style="list-style-type: none"> • Laboratoire bouruiade 	Heure : 08:00
	Type de conditionnement : <p>Sang</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dilution : 1/10 ml avec de l'eau distillé <ul style="list-style-type: none"> • Filtration membranaire <p>Urine</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dilution : 1/10 ml avec de l'eau distillé

Annexe 02

Présentation de questionnaire utilisé dans l'enquête

INFORMATIONS GÉNÉRALES

1. Date du jour

Année	Mois	Jour
2. Date de naissance

Année	Mois	Jour
3. Sexe Féminin
 Masculin
4. Grandeur

--

 mètres
5. Poids

--	--	--

 kilogrammes
6. Fumez-vous ou avez-vous déjà fumé la pipe ou le cigare sur une base régulière? Non Oui
Si non, passez à la question no. 8.
Si oui, nombre d'années

--	--

Nombre approximatif de pipées ou de cigares par jour

--	--

Si vous êtes un ex-fumeur de pipe ou de cigares, depuis combien de temps avez-vous cessé?

--	--

Si depuis moins d'un an, nombre de mois

--	--

Si depuis plus d'un an, nombre d'années

--	--
7. Quel type d'eau consommez-vous la plupart du temps?
Eau provenant du réseau d'aqueduc :
Eau provenant d'un puits :
Eau embouteillée :
- Consommez-vous des boissons en canette? Non Oui
(incluant la bière)
- Consommez-vous régulièrement des aliments en conserve (fruits, légumes, soupes, etc.) Non Oui
Si oui, précisez le nombre de fois par semaine : _____

ANTÉCÉDENTS DE TRAVAIL

8. Veuillez nous d'écrire vos deux derniers emplois en commençant par votre emploi actuel (si vous travaillez actuellement) ou par le plus récent (si vous ne travaillez pas en ce moment) :

Titre d'emploi _____
 Date début - date fin _____
 Type d'entreprise _____
 Principales fonctions _____

Titre d'emploi _____
 Date début - date fin _____
 Type d'entreprise _____
 Principales fonctions _____

9- DIVERS

Combien d'amalgames dentaires (plombages gris seulement) avez-vous?
 (nombre approximatif)

1

Avez-vous des prothèses ayant des parties métalliques? Non Oui
 (ex. genoux, hanche, implants dentaires)

Si oui, précisez: _____

Habitez-vous à proximité d'une industrie? Non Oui

Si oui, veuillez préciser le type d'industrie : _____

Habitez-vous à proximité d'une mine? Non Oui

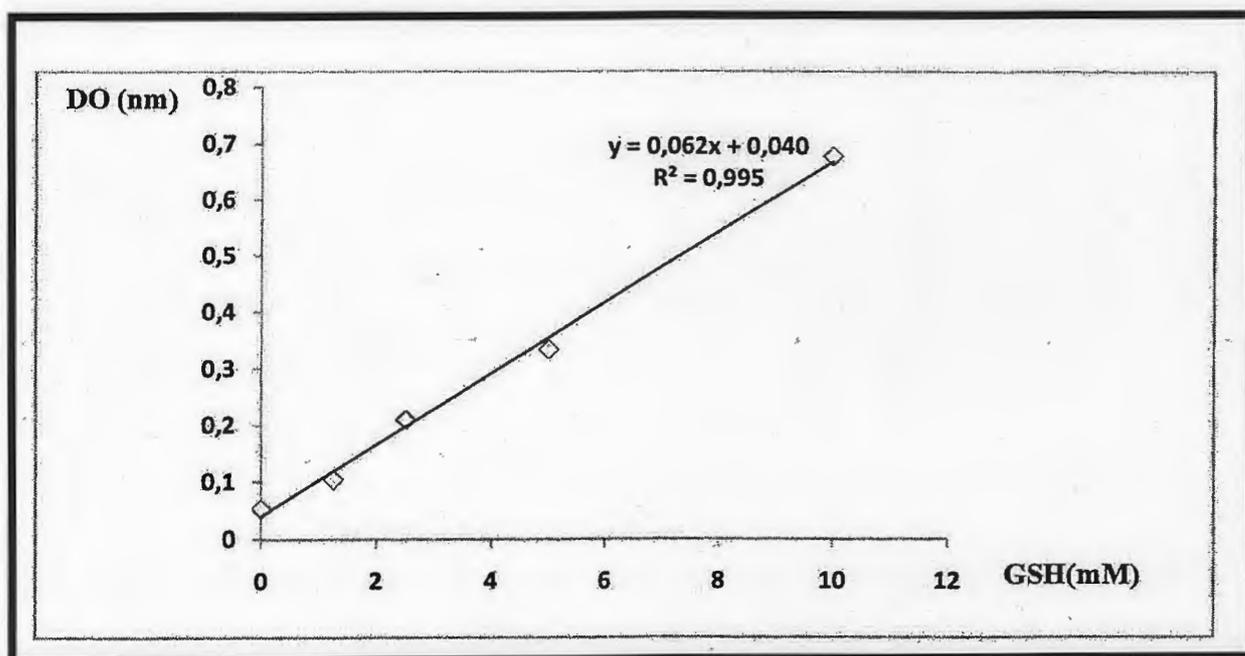
Si oui, veuillez préciser le type de mine : _____

Souffrez-vous d'une pathologie (ex. SIDA, cirrhose, insuffisance hépatique ou rénale, cancer, maladie de Wilson, etc.)? Non Oui
 Si oui, veuillez préciser :

Annexe 03

Réactifs et solvants utilisés pour l'évaluation du glutathion

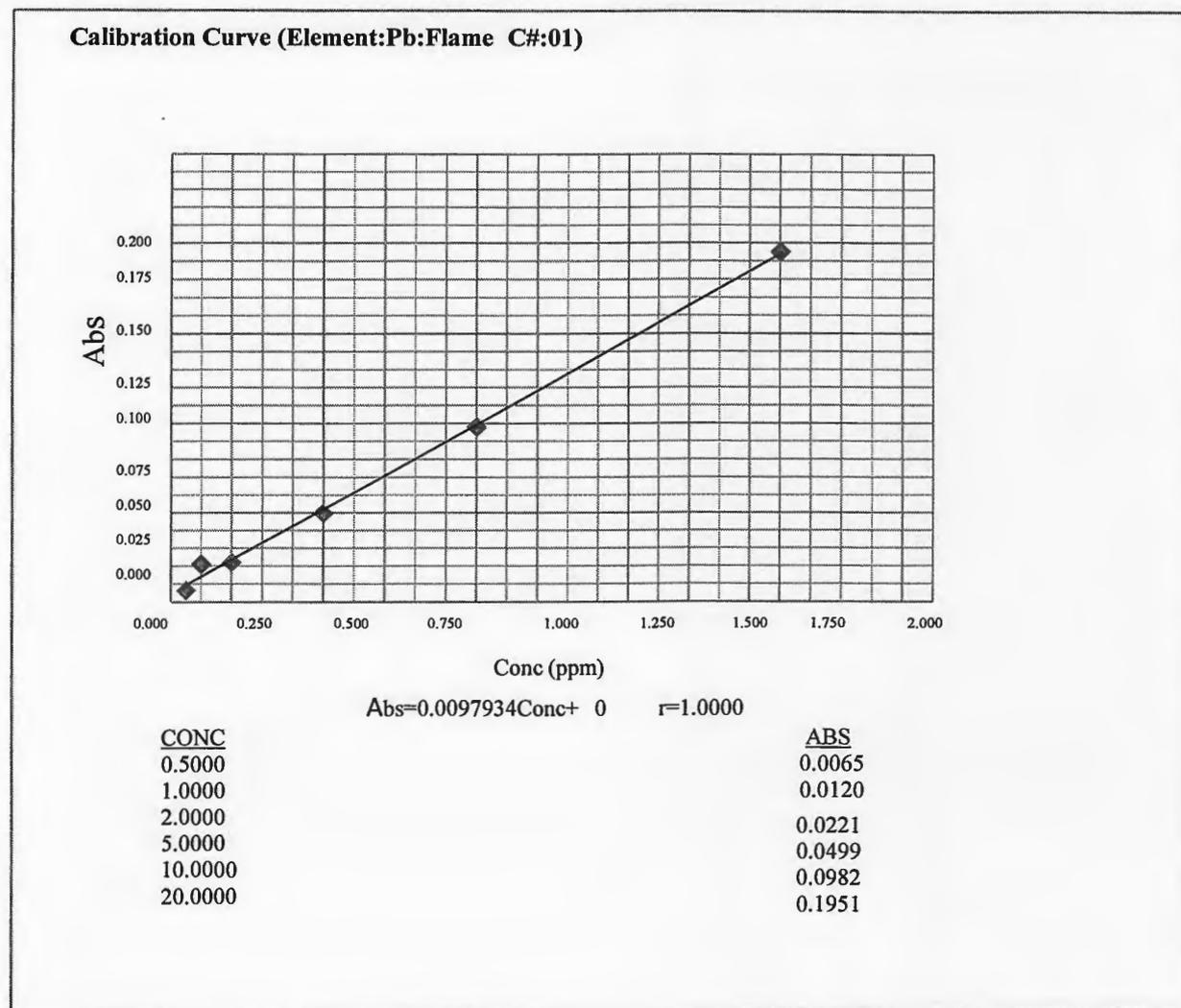
- a- L'acide trichloracétique 10%.
- b- Tris-Hcl (400mM).
- c- Réactif d'Ellman 5,5'-dithio-bis (2-nitrobenzoïque) 0,792g/2ml (2,5mM).
- d- Glutathion réduit.



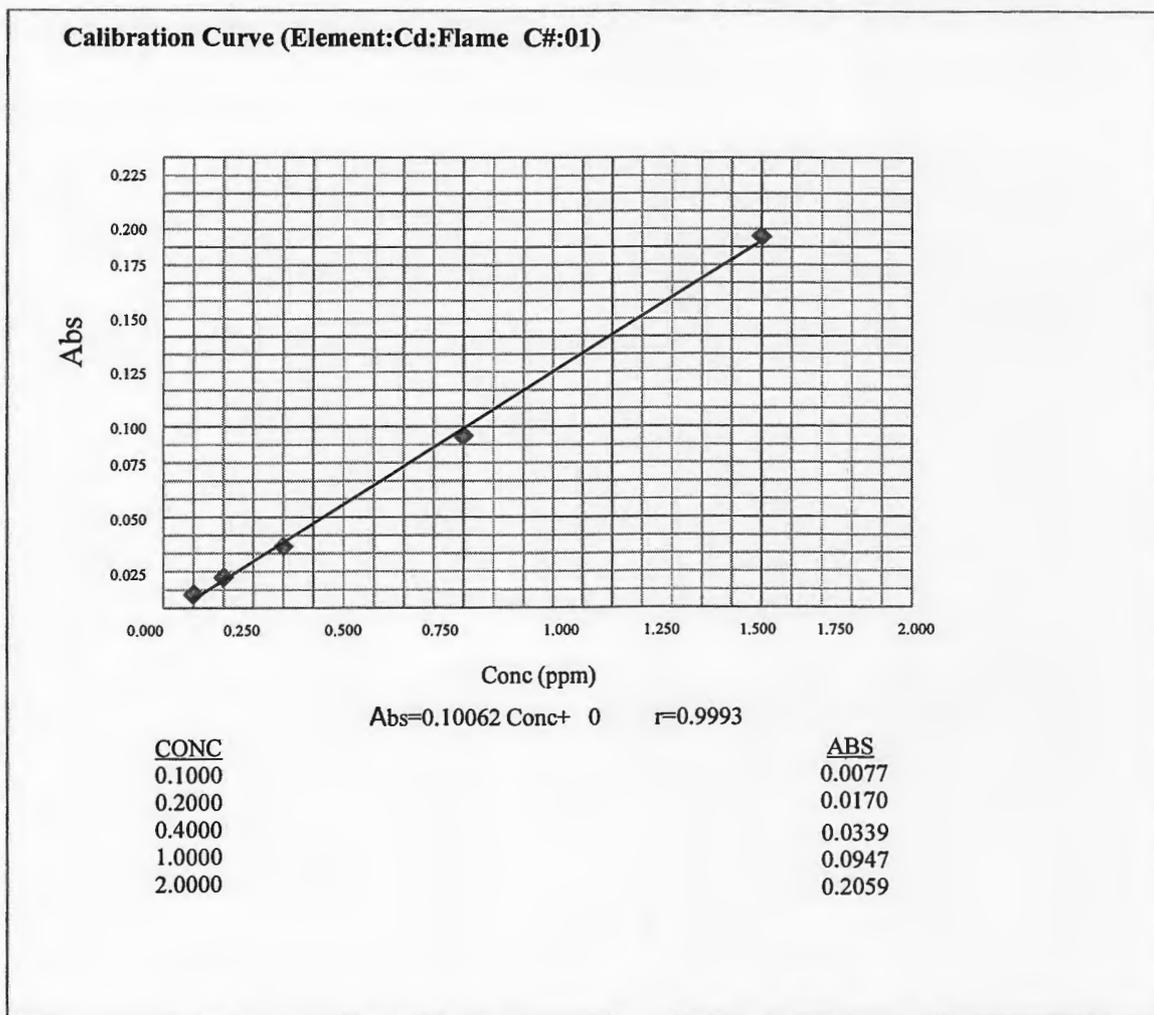
Courbe d'étalonnage du GSH avec le réactif DTNB

Annexe 04

Courbe d'étalonnage (1) du plomb par la SAA



Courbe d'étalonnage (2) du cadmium par la SAA



NOM ABBAS BOULADJOUL	PRENOM NADJIBA NAWEL	Date de soutenance Juillet 2012
-----------------------------------	-----------------------------------	---

L'étude de la contamination métallique des eaux souterraines du bassin versant de l'oued Nil et leur impact sur la santé.

Résumé

L'objectif de cette étude est d'évaluer en premier plan le degré de contamination des eaux des forages de l'oued Nil alimentant la ville de Jijel et la région de Taher en eau de boisson par deux éléments en trace métallique cibles : cadmium et plomb, en deuxième plan, l'évaluation préliminaire des risques sanitaires liés à l'exposition aux ces métaux via l'ingestion des eaux par dosage de ces derniers dans le sang et les urines et par évaluation d'un paramètre représentatif du stress oxydant : le glutathion sur des volontaires habitent dans la région de Taher. Nos résultats révèlent une contamination dangereuse des sources d'eau de la région.

Cette contamination est expliquée par les provinces géologiques du fond pédogéochimique en absence des autres sources anthropiques. les concentrations en plomb et en cadmium trouvées dans le sang et les urines sont très inquiétantes et dépassent les valeurs de référence. Aussi, les résultats montrent une diminution du taux de GSH sanguin, ce la confirment la contamination métalliques des eaux des forages. L'ensemble de résultats obtenus montre que le niveau alarmant de cette contamination nécessite la mise en place de moyens de lutte contre cette contamination.

Mots-clefs : Élément trace métallique, forages de l'oued Nil, contamination métallique, plomb, cadmium, GSH.

Abstract

The objective of this study is to evaluate in first place, the level of contamination the river Nile well's water supplying the city of Jijel and the area of Taher in drinking water by two heavy metals; lead and cadmium, in second place, the preliminary assessment of health risks related to exposure to these metals through ingestion of water by dosing them in blood and urine and evaluation of a restriction delegate of stress oxidizing; glutathione in human volunteers living in the area of Taher Our results reveal hazardous contamination of water sources in the region. This contamination is explained by the geological provinces of soil geochemical background in the absence of other anthropogenic sources. The concentrations of Abstract lead and cadmium found in blood and urine are very disturbing and exceed the reference values. Also, results show a decrease in blood GSH, prove that the metal contamination of water wells. The whole of results obtained watch that the alarming level of this contamination requires the setting up of struggle means against this contamination.

Word-keys: Heavy metals, lead, cadmium, stress oxidizing, GSH, river Nile wells.

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تحديد درجة تلوث مصادر مياه الشرب لمدينة جيجل و الظاهير المزودة من آبار واد النيل عن طريق معدنين مستهدفين: الزرنيخ و الرصاص هذا من جهة و من جهة أخرى تقدير أولي للمخاطر الصحية نتيجة المياه المستهلكة و ذلك بتحديد نسبة هذين المعدنين في عينات من الدم و البول و كذلك نسبة الجهد التاكسدي باستعمال عامل ممثل له: الغلوتاثيون على مجموعة متطوعين من منطقة الظاهير. النتائج التي تحصلنا عليها تثبت نسبة تلوث خطيرة لمصادر مياه المنطقة و مع غياب المصادر و الأنشطة الصناعية يبقى المصدر الأساسي المحتمل لهذا التلوث هو الطبيعة الجيوكيميائية لتربة المنطقة الغنية طبيعياً بالمعادن. فيما يتعلق بالدم و البول فإن التراكيز المتحصل عليها لكل من الرصاص و الزرنيخ جد مقلقة بحيث تعدت القيم المرجعية. النتائج وضحت أيضاً نقص في قيمة الغلوتاثيون الدموي، هذا ما يؤكد على وجود تلوث في مياه الآبار المدروسة. مجموع النتائج المتحصل عليها تظهر أن مستويات التلوث المعدني بالمنطقة جد خطيرة مما يوجب ضرورة البحث عن سبل لمكافحتها.

الكلمات المفتاحية : آبار واد النيل, الرصاص, الزرنيخ, الماء, الجهد التاكسدي, الغلوتاثيون.