

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد السديق بن يحيى - جيجل

Université Med-Seddik Benyahia-Jijel

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences de l'Environnement
et des Sciences Agronomiques



كلية علوم الطبيعة و الحياة

قسم علوم المحيط و العلوم الفلاحية

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Biologie**

Option : Toxicologie de l'Environnement

Thème

***Evaluation des teneurs en cadmium dans les eaux de
consommation de la ville de Jijel***

Présenté par :

- Benayache Nour el houda
- Boudra Samiha

Jury de Soutenance :

- Présidente : M^{elle} Salem S
- Examinatrice : M^{me} Bencharif N
- Encadreur : M^{me} Balli N

Session Juillet 2017

Numéro d'ordre : .../...

Laboratoire d'écotoxicologie, Université Med-Seddik Benyahia-Jijel

Remerciements

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

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

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

M^{elle} Salem S et M^{me} Bencharif N

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

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

Dédicace

Je Dédie ce modeste travail

A mes très chers parents pour leurs dévouements, leurs amours, leurs sacrifices et leurs encouragements. Que ce travail soit, pour eux, un faible témoignage de ma profonde affection et tendresse.

A mes frères, A mes sœurs

A tous mes amis

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

A tous les membres de ma famille

A tous ceux qui me sont chers

Nour el houda

Dédicace

Je Dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents pour leurs dévouements, leurs amours, leurs sacrifices et leurs encouragements. Que ce travail soit, pour eux, un faible témoignage de ma profonde affection et tendresse.

A mes frères

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

A tous les membres de ma famille

A tous ceux qui me sont chers

Samiha

Sommaire	Page
Liste des tableaux.....	iv
Liste des figures.....	v
Liste des abréviations.....	vi
Introduction.....	1
1^{ère} partie: Synthèse bibliographique	
Chapitre I : Généralités sur l'eau	
I.1. Le cycle biogéochimique de l'eau.....	3
I.2. Ressources en eau.....	3
I.2.1. Eaux de surface.....	4
I.2.2. Eaux souterraines.....	4
I.3. Généralités sur les eaux de consommation.....	5
I.3.1. Définition.....	5
I.3.2. Normes de la qualité des eaux destinées à la consommation.....	5
I.3.3. Caractéristiques d'une eau de consommation.....	6
I.3.4. Types des eaux destinées à la consommation	6
I.3.5. Le cycle de l'eau de consommation.....	7
I.3.6. Distribution jusqu'au robinet.....	7
I.4. Les besoins humains en eau.....	8
Chapitre II : La pollution des eaux	
II.1. Définition d'une eau polluée.....	9
II.2. Les origines de la pollution de l'eau.....	9
II.2.1. Origines naturelles.....	9
II.2.2. Origines anthropiques.....	9
II.3. La pollution métallique des eaux.....	10
II.3.1. Définition des métaux lourds.....	11
II.3.2. Le métal étudié : Le cadmium.....	11
II.3.2.1. Définition et propriétés physico-chimiques.....	11
II.3.2.2. Les sources du cadmium dans l'environnement.....	12
II.3.2.3. Utilisation du cadmium.....	12

II.3.2.4. Devenir et comportement du cadmium dans l'environnement.....	12
II.3.2.5. Spéciation du cadmium dans l'eau.....	13
II.3.2.6. Toxico-cinétique du cadmium.....	14
II.3.2.7. Toxicité du cadmium.....	15

2^{ème} partie : Partie expérimentale

Chapitre I : Matériel et méthodes

I.1. Situation géographique de la wilaya de Jijel.....	16
I.2. Le réseau hydrographique.....	16
I.3. Géologie de la wilaya de Jijel.....	17
I.4. Climatologie de la wilaya de Jijel.....	18
I.4.1. La température.....	18
I.4.2. Les précipitations.....	18
I.4.3. Diagramme Ombrothermique de Gaussen.....	19
I.4.4. L'humidité.....	20
I.4.5. Le vent.....	21
I.5. Le contexte socio- économique.....	21
I.5.1. Population.....	21
I.5.2. Le secteur primaire.....	21
I.5.3. Les secteurs secondaires.....	21
I.6. Description de la zone d'étude.....	22
I.6.1. Situation géographique du barrage de kissir.....	22
I.6.1.1. Contexte géologique de barrage de kissir.....	23
I.6.2. La station de traitement de kissir.....	23
I.7. Echantillonnage et technique de prélèvement.....	23
I.7.1. Choix des points d'échantillonnage.....	24
I.7.2. Prélèvement des échantillons et conservation.....	26
I.7.2.1. Flaconnage des échantillons.....	26
I.7.2.2. prélèvement et conservation des échantillons.....	26
I.7.3. Préparation des échantillons.....	26
I.8. La méthode d'analyse du cadmium.....	27
I.8.1. Principe de la spectrométrie d'absorption atomique à flamme.....	27
I.8.2. Etalonnage.....	27

Chapitre II : Résultats et discussion

II.1. Résultats.....	28
II.1.1. Concentration du cadmium dans les eaux de consommations depuis la source jusqu'au consommateur.....	28
II.1.2. Variations de concentrations du cadmium en fonction des étapes de production de l'eau de consommation.....	29
II.1.3. Etude de variations des teneurs en cadmium entre les châteaux d'eau et les robinets des maisons.....	31
II.2. Discussion.....	32
Conclusion.....	35
Références bibliographiques.....	37
Annexes.....	I

Tableaux	Titre	Page
Tableau 1 :	Principales différences entre eaux de surface et eaux souterraines.....	4
Tableau 2 :	Lignes directrices actuelles sur la qualité de l'eau potable ($\mu\text{g/L}$) pour les métaux lourds (ML), publiées par plusieurs organisations, comités ou agences à travers le monde.....	5
Tableau 3 :	Propriétés physico-chimique du Cd.....	11
Tableau 4 :	Les points d'échantillonnages.....	25
Tableau 5 :	Les teneurs en cadmium ($\mu\text{g/L}$) dans les eaux de consommation dans la ville de Jijel.....	28
Tableau 6 :	Variations de concentrations du cadmium en fonction des étapes de production de l'eau de consommation dans la ville de Jijel.....	30

Figure	Titre	Page
Figure 1 :	Le cycle de l'eau.....	3
Figure 2 :	Le cycle de l'eau de consommation.....	7
Figure 3 :	Situation géographique de la wilaya de Jijel.....	16
Figure 4 :	Carte hydrographique de la Wilaya de Jijel.....	17
Figure 5 :	Variations des températures moyennes de la période (2006-2016).....	18
Figure 6 :	Variations des précipitations moyennes de la période (2006-2016).....	19
Figure 7 :	Diagramme Omrothermique de Gaussen (2006-2016).....	20
Figure 8 :	Variations de l'humidité moyennes de la période.....	20
Figure 9 :	Situation géographiques de la Ville de Jijel.....	22
Figure 10 :	la situation géographique du barrage de Kissir.....	23
Figure 11 :	Schéma représente les points d'échantillonnage.....	24
Figure 12 :	Teneurs en cadmium dans les eaux de consommations de la ville de Jijel depuis la source jusqu'aux consommateurs.....	29
Figure 14 :	Variations des teneurs en cadmium entre les stations selon les étapes de production de l'eau de consommation dans la ville de Jijel.....	30
Figure 15 :	Variations des teneurs en cadmium entre les stations château/maison.....	31

ADE : Algérienne des Eaux

ANBT : Agence Nationale des Barrages et Transferts

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques

APEÉU : Agence de protection de l'environnement des États-Unis

ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry

CA : Cahiers de l'Agence

CEE : Commission européenne Environnement

Cd : Cadmium

Cm³ : Centimètre cube

°C : Degrés Celsius

ETM : Éléments traces métalliques

DEP : Direction d'Équipement Publique

DMA : Dose maximale admissible

FTP-CEP : Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable, Santé Canada

g/mol : Gramme par mol

g/L : Gramme par litre

g/cm³ : Gramme par centimètre cube

g/kg : Gramme par kilogramme

H : Humidité

HNO₃ : l'acide nitrique

Ha/Km² : Hektar par kilomètre cube

Km : Kilomètre

Km² : Kilomètre carré

Km³ : Kilomètre cube

Kg : Kilogramme

L : Litre

LDEPA : Lignes directrices sur l'eau potable en Algérie

Mg : Milligramme

Mg/l : Milligramme par litre

ML : Métaux Lourds

ml : Millilitre

mm : Millimètre

mm/an : Millimètre par année

MT : Métallothioniène

M³/jour : Mètre cube par jour

MES : Matière en suspension

µg/L : Microgramme par litre

µm : Micromètre

Nm : Nanomètre

NOM : Norme Official en Mexico

OMS : Organisation mondiale de la santé

ONM : Office National de Météorologie

P : moyenne mensuelles des précipitations en mm

Pa : Pascale

pH : Potentiel hydrique

Ppm : Partie par million

PQECHA : Paramètres de Qualité de l'Eau de Consommation Humaine en Australie

SAA : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique

T : moyenne mensuelles des températures en °C

Introduction

Introduction

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

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

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

Les métaux lourds, sont des polluants engendrés par la plupart des activités humaines, qui ont un fort impact toxicologique. Les métaux toxiques sont nombreux, néanmoins, certains d'entre eux sont particulièrement visés à cause de leur profil toxicologique puissant, c'est le cas surtout du cadmium. En effet, Il est considéré comme un polluant cancérigène pour l'homme (**Gardas, 2000**).

D'autre part, les métaux lourds dont le cadmium, sont omniprésents dans les eaux de surface, toutefois leurs concentrations sont en général très faibles ce qui explique leur dénomination de « métaux traces » ou « éléments traces métalliques » (ETM). Ces éléments sont présents couramment dans la croûte terrestre, aussi l'altération et l'érosion des roches alimentent naturellement les eaux de surface en ETM (**Adriano, 2001**).

La pollution des eaux de surface destinée après traitement à la consommation humaine par le cadmium générée tant par les activités humaines que par les processus géologiques est un risque majeur et constitue un problème très sérieux dans toutes les régions du monde.

Les ressources d'eau de consommation dans la ville de Jijel ne font pas exception. En effet, la région de Jijel est une région à vocation agricole, et est caractérisée par un réseau hydrographique superficiel assez dense représenté particulièrement par Oued Djendjen, Oued Nil, Oued Mencha et Oued Kissir. Sur ce dernier, il est construit le barrage de Kissir, qui représente actuellement la principale source qui alimente la ville de Jijel en eau potable.

En relation avec cette problématique, cette étude tentera d'apporter une évaluation des teneurs en cadmium dans l'eau de consommation de la ville de Jijel depuis la source de sa production, barrage de Kissir, jusqu'aux robinets des consommateurs.

Nous avons structuré notre démarche en deux parties interdépendantes :

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

1^{ère} partie

Synthèse

Bibliographique

Chapitre I

Généralités sur l'eau

I.1. Le cycle biogéochimique de l'eau

L'eau est un élément fondamental de la vie, recouvrant 72 % de la surface de la terre, et représentant une réserve totale de 1350 milliards de Km³ dans la biosphère appelée l'hydrosphère (Genin et al., 2003). C'est l'enveloppe aqueuse de la terre, c'est-à-dire la partie de l'environnement qui est avant tout constituée d'eau : les océans, les lacs, les cours d'eau, les nappes phréatiques, la glace polaire et les glaciers (Bliefert et Perraud, 2009).

L'évaporation lente et incessante des fleuves, des lacs et des mers provoque la formation dans la haute atmosphère, de nuages qui par condensation se transforment en pluie. Une fraction des eaux de pluie ruisselle à la surface du sol et va grossir les cours d'eau et les lacs, d'où elle est sujette d'une part à l'évaporation et d'autre part à l'infiltration à travers le sol. Une partie des eaux d'infiltration est reprise par la végétation qu'elle alimente avant d'être rejetée dans l'atmosphère, c'est l'évapotranspiration. L'autre partie s'accumule dans le sous-sol pour former des nappes souterraines qui, à leur tour peuvent former des sources émergentes à la surface du sol (figure 1) (Coulibaly, 2005).

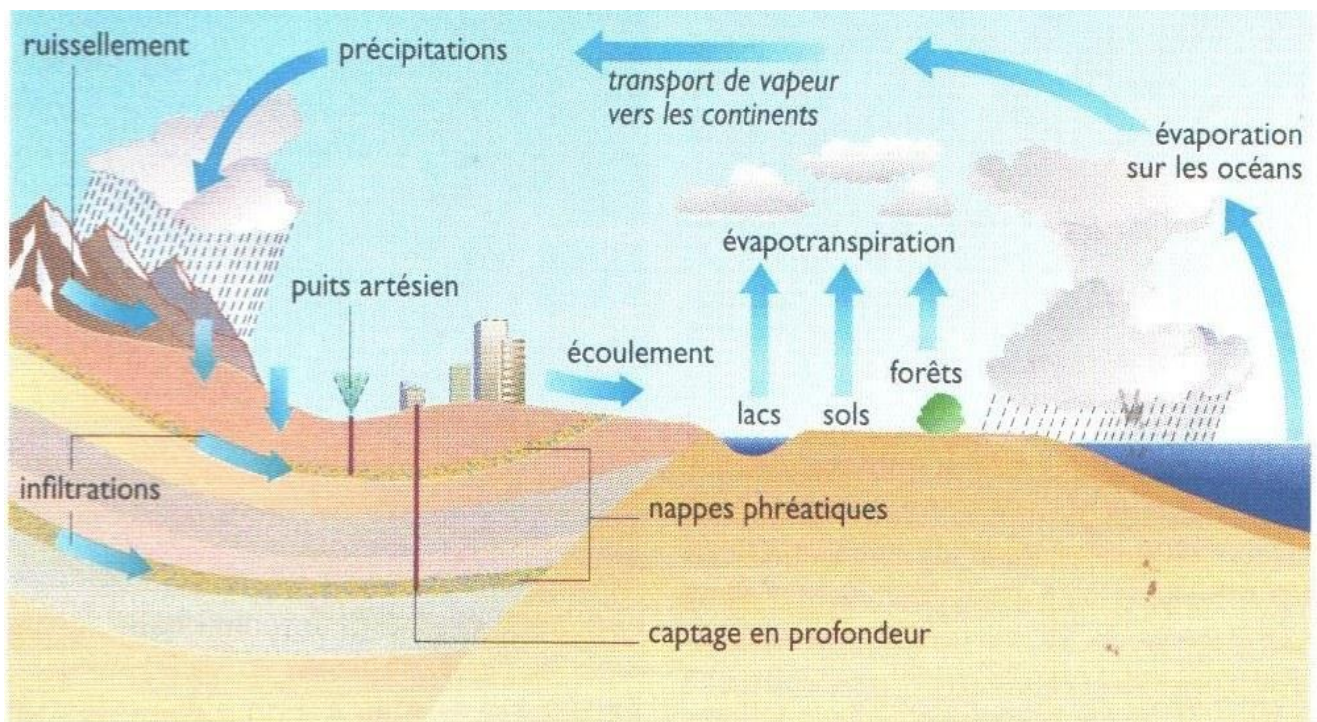


Figure 1 : Le cycle de l'eau (Le petit Larousse, 2014).

I.2. Ressources en eau

Les réserves disponibles des eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surface stagnantes (lacs, retenues de barrages) ou en écoulement (rivières) (Degremont, 2005).

I.2.1. Eaux de surface

Elles sont constituées par toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Elles ont pour origine les eaux de ruissellement ou les nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseau puis de rivière (Boeglin, 1999).

Ces eaux se rassemblent en cours d'eau caractérisés par une surface de contact eau-atmosphère en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (étangs, lacs) ou artificielles (retenues, barrages) caractérisées par une surface d'échanges eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour souvent élevé (Maiga, 2005).

I.2.2. Eaux souterraines

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

Tableau 1 : Principales différences entre eaux de surface et eaux souterraines (Boeglin, 1999).

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

I.3. Généralités sur les eaux de consommation

I.3.1. Définition

Une eau destinée à la consommation humaine est potable dès lors qu'elle est exempte d'éléments chimiques et/ou biologiques susceptibles, à plus ou moins long terme, de nuire à la santé des individus. Par conséquent, en fonction des caractéristiques de l'eau brute destinée à la production d'eau potable, la mise en place de traitements spécifiques s'avère le plus souvent nécessaire afin de répondre aux exigences réglementaires établies par les organismes de santé publique (Lebleu, 2007).

I.3.2. Normes de la qualité des eaux destinées à la consommation

Ce 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 (tableau 2) ; c'est la garantie d'une eau de qualité (Smets, 2005).

Les normes s'appuient, en général sur les études scientifiques et sur les travaux médicaux montrant la dangerosité d'un produit et établissant sa dose maximale admissible (DMA), c'est-à-dire la quantité du produit qu'un individu peut absorber sans danger quotidiennement tout au long de sa vie (OMS, 2004).

Tableau 2 : Lignes directrices actuelles sur la qualité de l'eau potable ($\mu\text{g/L}$) pour les métaux lourds (ML), publiées par plusieurs organisations, comités ou agences à travers le monde (JORA, 2011; Fabián et al., 2013).

ML	OMS	APEÉU	CEE	FTP-CEP	LDEPA	PQEC HA	NOM-127
Antimoine	20	6	5	6	20	3	---
Arsenic	10	10	10	10	10	10	25
Cadmium	3	5	5	5	3	2	5
Chrome	50	100	50	50	50	50	50
Cuivre	2000	1300	2000	1000	2000	2000	2000
Le fer	---	300	200	300	300	300	300
Plomb	10	15	10	10	10	10	10

Manganèse	100	50	50	50	50	500	150
Mercure	6	2	1	1	6	1	1
Nickel	70	---	20	---	70	20	---
Argent	---	100	---	---	100	100	---
Uranium	30	30	---	20	15	17	---
Zinc	---	500	---	5000	5	3000	5000

I.3.3. Caractéristiques d'une eau de consommation

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

- Limpide, incolore, inodore, fraîche(7-12°).
- Aérée (30cm³ de gaz par litre). L'eau bouillie est indigeste.
- Pourvue d'une faible proportion de sels minéraux (carbonates, sulfates, chlorures) qui lui donnent une saveur faible mais agréable et une certaine valeur nutritive. L'eau ne doit pas contenir plus de 0,50g/L de sels minéraux.
- Dépourvue de matières organiques, dont la présence est un indice de souillure. On en tolère 5mg/L au maximum. Favorables au développement des microbes, ces matières en se putréfiant, donnent une odeur désagréable et des produits toxiques.
- Dépourvue de germes, de vers, de parasites et de microbes pathogènes. L'eau potable n'est pas stérile. On y tolère de 100 à 1000 bactéries non pathogènes par cm³. Par contre elle ne doit contenir ni germes parasitaires, ni microbes pathogènes (**Maiga, 2005**).

I.3.4. Types des eaux de consommation

I.3.4.1. Eau minérale

C'est une eau souterraine de composition sensiblement constante, captée et conditionnée à la source, propre à la consommation humaine sans traitement, et utilisée à des fins thérapeutiques. Par sa composition et notamment du fait de la présence d'oligoéléments, elle contribue au bon fonctionnement de l'organisme (**Checkley, 2004**).

I.3.4.2. Eau de source

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

I.3.4.3. Eau de table

On commercialise des eaux embouteillées dont le seul critère est de répondre aux normes de potabilité, tout traitement préalable étant autorisé sous forme non gazeuse ou effervescente (**Boeglin, 1999**).

I.3.5. Le cycle de l'eau de consommation

L'eau brute destinée à la consommation humaine est prélevée dans un cours d'eau ou une nappe d'eaux souterraines. Elle est ensuite acheminée vers une usine de production d'eau potable où elle subit divers traitements physiques, chimiques et biologiques.

Rendue potable, elle est distribuée aux consommateurs. Après usage, elle est recueillie pour être conduite vers les usines de dépollution des eaux usées, avant d'être enfin rendue à la nature.

Ce cycle subi par l'eau du fait de son usage par les sociétés humaines se décompose en cinq grandes étapes : le captage, le transport, la production d'eau potable, la distribution, puis la collecte et la dépollution des eaux usées (figure 2) (**Moulin, 2012**).

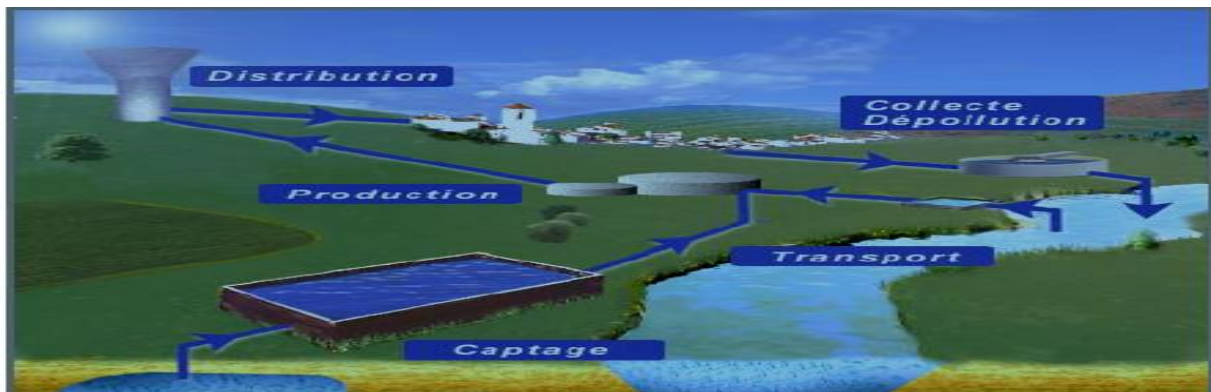


Figure 2 : Le cycle de l'eau de consommation (**Moulin, 2012**).

1.3.6. Distribution jusqu'au robinet

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

Les interactions eau-matériaux sont inévitables, tant sur le plan microbiologique que chimique. En raison de la difficulté croissante à fournir en quantité suffisante une eau

d'alimentation parfaitement conforme aux critères de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine, certains ont proposé un double réseau de canalisation (**Gérin et al., 1996**).

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

I.4. Les besoins humains en eau

Le besoin quotidien d'un adulte est d'environ 35 g/kg, rapporté au poids corporel ; ceci signifie qu'un adulte de 70 kg a besoin d'environ 2,5 L d'eau potable par jour, c'est-à-dire de 50000 à 60000 L au cours d'une vie (**Bliefert et Perraud, 2009**).

Chapitre II

La pollution de l'eau

II.1. Définition d'une eau polluée

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

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

II.2. Les origines de la pollution de l'eau

II.2.1. Origines naturelles

Certaines substances naturellement présentes dans l'environnement entraînent parfois des problèmes de contamination de l'eau potable. Des composés inorganiques comme le baryum, l'arsenic, les fluorures, le sodium, les chlorures, le mercure, le cadmium et les cyanures peuvent contaminer l'eau potable. L'eau souterraine est particulièrement vulnérable lorsqu'il y a présence de métaux dans les formations géologiques environnantes (**Djabri, 1996 in Lounnas, 2009**).

II.2.2. Origines anthropiques

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

II.2.2.1. Pollution agricole

Les pollutions des eaux superficielles et souterraines s'effectuent dans le domaine agricole de façon diffuse ce qui les rend à la fois moins visibles et plus difficiles à maîtriser que les pollutions d'origine industrielles ou urbaines (**Colin, 2007**).

L'agriculture peut produire une pollution ponctuelle, comme les fuites de stockage des sous-produits de l'élevage ; jus de fumiers ou d'ensilage, ou les fuites d'engrais ou de produits

phytosanitaires, lors de la préparation des solutions à épandre ou lors du rinçage du matériel. De plus, les engrais et pesticides épandus constituent une source de pollution diffuse, la végétation et le sol constituant un réservoir de polluants facilement mobilisable par l'eau d'infiltration, cette pollution est mise en circuit lorsque les conditions météorologiques sont défavorables (**Gilli et al., 2004**).

II.2.2.2. Pollution domestique et urbaine

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

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

Ou par des fortes concentrations en toxiques et hydrocarbures provenant essentiellement de lessivage des parkings, résidus d'échappements des véhicules, résidus de corrosion des équipements métalliques (**Genin et al., 2003**).

II.2.2.3. Pollution industrielle

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

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

II.3. La pollution métallique des eaux

Parmi les différents types de pollution, le problème posé par la pollution des écosystèmes aquatiques due aux métaux lourds est tout à fait singulier. Il est lié à la spécificité de la contamination, souvent multiéléments, et aux caractéristiques physico-chimiques du milieu (pH, température,...). La pollution de l'eau par les métaux lourds est particulièrement problématique en raison de leur non biodégradabilité par rapport à la pollution organique et de leur toxicité (**Audry, 2003**).

II.3.1. Définition des métaux lourds

Le terme «métaux lourds» à une définition assez large. Actuellement, ce terme désigne les métaux ayant une toxicité pour l'environnement. Auparavant la classification des éléments sous le terme de «métal lourd» se faisait essentiellement selon un critère de densité qui a lui aussi évalué. En effet, la densité minimale pour laquelle un métal était qualifié de lourd était de 4, puis le chimiste Laped à passer à $5\text{g}/\text{cm}^3$ en 1964 (**Le floche, 2004**). En suite ce terme de «métaux lourds» est passé dans le langage courant et a été utilisé pour qualifier les éléments de densité supérieur à $5\text{g}/\text{cm}^3$, de numéro atomique élevé en général supérieur à celui de Sodium ($Z=11$), et ayant une toxicologie reconnue (**Jeannot et al., 2001 ; Le floche, 2004**).

II.3.2. Le métal étudié : Le cadmium

II.3.2.1. Définition et propriétés physico-chimiques

Le nom du cadmium vient de latin *cadmia*, «calamine», ancien nom donné au carbonate de zinc). Ce métal n'a été découvert et isolé qu'au début de XIX^{ème} siècle et il est resté inexploité jusqu'à ce que ces potentialités industrielles soient mises en évidence (**Pillet, 2001**).

Le cadmium est un métal blanc argenté (**Casas, 2005**). Brillant mais qui se ternit, il est malléable et ductile, et sa pression de vapeur est assez élevée (**Cotton, et Wilkinson, 1972**). Il n'existe pas de minerai pur de cadmium à l'état naturel. On le trouve toujours associé aux minerais de zinc et plomb (**Dange, 2002**).

Le cadmium est rencontré sous forme métallique ou de sels (oxyde, chlorure, sulfure . . . etc). Les sels de cadmium ont une très grande stabilité thermique et chimique (**Andujar et al, 2010**). Les principales propriétés physicochimiques du cadmium sont résumées dans le tableau 3.

Tableau 3: Propriétés physico-chimique du Cd (**ATSDR, 1999**).

Symbole chimique	Cd
Série chimique	Métal de transition
Numéro atomique	48
Groupe, période, bloc	12, 5, d
Masse atomique	112,4 g/mol
Masse volumique	$8,64\text{ g}/\text{cm}^3$ (20 °C)
Température d'ébullition	767°C
Température de fusion	321°C
Dureté	2
Pression de vapeur	14,8 Pa

II.3.2.2. Les sources du cadmium dans l'environnement

a. Sources naturelles

Le cadmium est présent de façon naturelle dans la croûte terrestre. Au cours des temps géologiques, cet élément a suivi un cycle qui a conduit à une distribution hétérogène de sa concentration à la surface du globe (**Brignon et Malherbe, 2005**).

- L'altération et l'érosion des roches va libérer une quantité importante de cadmium qui seront transportées par les eaux continentales.
- L'activité volcanique est une source conséquente de libération du cadmium dans l'atmosphère.
- Les feux de forêt sont également été signalés comme une source naturelle d'émission atmosphérique de cadmium (**Damy, 2011**).

b. Sources anthropiques

Les activités industrielles telles que le raffinage des métaux non ferreux, la combustion du charbon et des produits pétroliers, les incinérateurs d'ordures ménagères et la métallurgie de l'acier constituent les principales sources de rejet atmosphérique. Dans l'eau, le cadmium provient du lessivage des sols (engrais phosphatés) ainsi que des décharges industrielles et du traitement des effluents industriels et des mines (**Casas, 2005**).

II.3.2.3. Utilisation du cadmium

Le cadmium est utilisé dans les revêtements anti-corrosion des métaux (acier, fonte, alliages de cuivre et aluminium – cadmiage) et dans les accumulateurs rechargeables (nickel-cadmium, argent-cadmium) où il constitue la borne négative. Il est également impliqué dans de nombreux alliages : dans les fusibles électriques, les bouchons de sécurité et les extincteurs automatiques, dans les roulements à billes spéciaux, dans les câbles électriques et dans les barres pour réacteurs nucléaires.

Le cadmium sous forme minérale est également utilisé dans les stabilisants pour plastiques, dans les pigments colorants, dans les batteries alcalins (**Gagneux, 2006**).

II.3.2.4. Devenir et comportement du cadmium dans l'environnement

Le devenir et le comportement du cadmium dans l'environnement dépend des conditions abiotiques, comme le pH, la dureté, l'alcalinité et les matières organiques naturelles. Ces facteurs ont une incidence sur la toxicité et la mobilité du cadmium en modifiant sa spéciation ou ses formes physicochimiques dans les systèmes aquatiques.

Des facteurs tels que le pH, le potentiel d'oxydoréduction ainsi que le type et l'abondance des ligands organiques, des hydroxydes et des cations présents pourraient influencer sur la spéciation du cadmium dans des conditions de pH élevé (**Raspor, 1980**).

Compte tenu du fait que le cadmium a une grande affinité pour les surfaces de particules à charge négative, comme les hydroxydes, les carbonates et les matières organiques, les processus de sorption et la complexation peuvent avoir une incidence sur le devenir du cadmium dans les eaux contenant des concentrations élevées de ligands organiques et inorganiques (**Callahan et al., 1979**).

II.3.2.5. Spéciation du cadmium dans l'eau

Le cadmium est un élément non conservatif que l'on rencontre en milieu aquatique sous divers formes physiques (dissoute, colloïdale, particulaire) et sous différentes formes chimiques (minérale ou organique) (**Gonzalez et al., 1999**).

La distinction entre les trois formes dissoutes, colloïdales et particulaires se fait par filtration et ultrafiltration, dont les seuils sont fixés arbitrairement en fonction de leur taille :

➤ Les formes dissoutes

Les formes dissoutes (< 1 nm) de cet élément en milieu aquatique sont des espèces libres (Cd^{2+}) et formées par des associations (complexation) de cadmium avec des composés (ligands ou complexant) minéraux ou organiques. Contrairement au mercure, l'ion libre du cadmium se trouve majoritairement dans le milieu. Ainsi, à pH=8, la quasi-totalité du cadmium est présent sous forme Cd^{2+} . Plus la salinité augmente, plus la concentration en Cd^{2+} diminue (**Campbell, 1995**).

Pour des pH supérieurs à 8, le cadmium précipite avec les carbonates. En zone côtière, lors du mélange des eaux douces avec l'eau de mer, le cadmium forme des complexes très stables avec les chlorures (**Cossa et Lassus, 1989**).

➤ Les formes colloïdales

De 450 à 1 nm, lorsqu'il se fixe à des oxydes de fer, de manganèse, des hydroxydes, des carbonates, des argiles ou de la matière organique colloïdale.

➤ les formes particulaires

A diamètre > 0,45 μm , se font par intégration du cadmium dans la structure cristalline de minéraux détritiques (bruit de fond géochimique), par liaison à une fraction d'origine organique (carbonates, restes d'organismes, pelotes fécales), par précipitation avec différents fractions minérales (carbonates, phosphates, oxydes et hydroxydes de fer ou de manganèse, sulfures) et par adsorption sur des phases de différentes natures (argiles, matière organique, oxydes et hydroxydes de fer et de manganèse) (**Gonzalez et al., 1999**).

II.3.2.6. Toxicocinétique du cadmium

La forme du cadmium et le mode d'exposition peuvent fortement affecter l'absorption et la distribution du cadmium sur différents sites cibles, et par conséquent, la concentration au niveau du site cible et la sévérité de l'effet observé.

L'oxyde de cadmium est la principale forme de cadmium dans l'air, tandis que pour les expositions orales, le chlorure de cadmium est le plus souvent testé dans des études animales en raison de sa solubilité dans l'eau (ATSDR, 1990).

a. Absorption

Le cadmium a un pourcentage d'absorption pulmonaire bien supérieur à l'absorption digestive (Leyral et Vierling, 2007). Cette dernière est de l'ordre de 3 à 7 % pour l'absorption digestive. L'absorption pulmonaire dépend de la granulométrie et de la solubilité du composé. Enfin, l'absorption percutanée est négligeable (Pichard, 2005).

b. Distribution et organes d'accumulation

Après avoir été absorbé oralement ou par inhalation, le Cd est transporté dans le système sanguin vers les autres parties du corps majoritairement lié à l'albumine ou encore à de grosses protéines du plasma sanguin (Nordberg et al., 2007).

Une fois distribué dans l'organisme, le Cd se loge majoritairement dans les reins, mais aussi dans le foie et les poumons. L'accumulation du Cd à ces endroits est le résultat de la grande production de métallothionine (MT) par ces organes. La MT est une protéine inductible par le Cd et qui protège la cellule des dégâts entraînés par ce métal en liant sa forme cationique Cd^{2+} toxique (Bernard, 2008).

Chez les gens soumis à des expositions courantes de Cd, environ 50 % du Cd se retrouve dans les reins, 20 % dans les muscles ainsi que 15 % dans le foie (Kjellstrom et al., 1979). Parallèlement, la proportion de Cd située dans les reins diminue en fonction de la quantité présente dans le foie (Nordberg et al., 2007).

c. Elimination

Seule une faible proportion du cadmium absorbée est excrétée (Friberg et al., 1974), principalement dans l'urine et les fèces et en quantités négligeables par les cheveux, les ongles et la sueur.

La quantité de cadmium excrétée quotidiennement par un adulte "normal" atteindrait 0,002 mg. (Friberg et al., 1974 ; OMS, 1974), Certaines études montrent que l'excrétion du cadmium se produit en trois étapes et que sa demi-vie biologique, en raison de la lenteur de l'excrétion, est de 20 à 30 années (Friberg et al., 1974 ; Holmstedt et al., 1978).

II.3.2.7. Toxicité du cadmium

a. Toxicité aiguë

L'ingestion de dérivés inorganiques du cadmium provoque chez l'homme des troubles digestifs intenses, caractérisés par des douleurs abdominales, des diarrhées, des nausées et des vomissements. Les pertes digestives sont responsables d'une hypo volémie et de désordres hydro électrolytiques (**Pillet, 2001**). Certains cas d'intoxications aigues ont été observés à la suite de l'ingestion d'aliments ayant été en contact avec des récipients colorés par des pigments à base de cadmium (**Joris, 2005**).

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**).

b. Toxicité chronique

Les principaux effets à long terme d'une exposition à des niveaux élevés de cadmium sont les maladies rénales, les maladies obstructives respiratoires (limitées à l'exposition professionnelle) et les maladies des os. Une maladie appelée "itai-itai" a été observée pour la première fois au Japon. Elle a été associée à une consommation sur une longue durée d'aliments contenant des niveaux élevés de cadmium (**Joris, 2005**).

Les effets cancérigènes du cadmium ont été démontrés au cours d'études sur les animaux. Des études épidémiologiques menées sur des travailleurs exposés professionnellement laissent croire à la possibilité d'une association entre l'inhalation de cadmium et le cancer du poumon et la prostate (**Pillier, 2002**).

Plusieurs études expérimentales ont mis en évidence l'apparition d'hypertension artérielle et d'une diminution de la contractibilité du myocarde pour une exposition par voie orale à une dose supérieure ou égale à 1 ppm de cadmium. Les mécanismes d'effets hypertenseurs de cadmium n'ont en revanche pas été élucidés. Chez l'homme, une corrélation positive entre l'exposition au cadmium et l'élévation de la pression artérielle a été mise en évidence (**Brillant, 1993**).

2^{ème} partie

Partie expérimentale

Chapitre I

Matériel et méthodes

I.1. Situation géographique de la wilaya de Jijel

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

Jijel est limitée au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par la wilaya de Skikda, à l'Ouest par la wilaya de Béjaia, au Sud par la wilaya de Mila, au Sud-Ouest par la wilaya de Sétif et enfin au Sud-Est par la wilaya de Constantine (figure 3) (DEP, 2017).

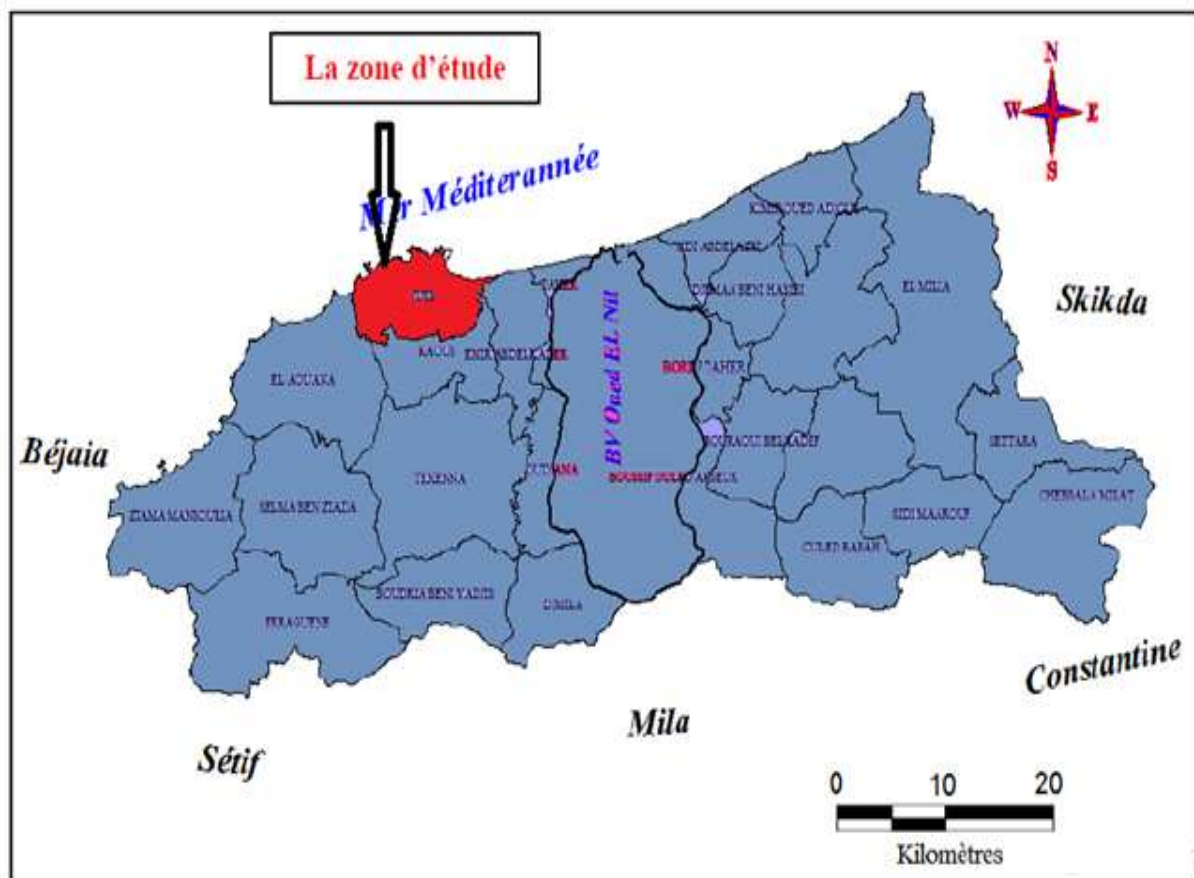


Figure 3 : Situation géographique de la wilaya de Jijel (DEP, 2017).

I.2. Le réseau hydrographique

Avec une pluviométrie de 1200 millimètre par années, la wilaya de Jijel est considérée parmi les régions les plus pluvieuses en Algérie. Elle reçoit chaque année des apports d'eau de pluies très importants, qui ruissellent généralement vers les principaux Oueds existants dans la nappe de Oued Nil, la nappe de Oued El-Kebir, la nappe de Oued Djen-Djen, la nappe de Oued Kissir et la nappe d'Oued Mencha.

Le potentiel hydrique de la wilaya de Jijel est très important, il est estimé à environ 1.474 millions de mètres cubes dominé essentiellement par les ressources en eau superficielles qui représentent 94,9 % (figure 4).

Les ressources mobilisables sont estimées à 705,6 millions de mètre cubes dont 620 millions de mètre cubes de ressources superficiels destinés essentiellement à l'irrigation et industrie hydroélectrique, et 85,6 millions de mètres cubes de ressources souterraines représentées par les nappes phréatiques empruntés en général par l'alimentation en eau potable (ANRH, 2016).

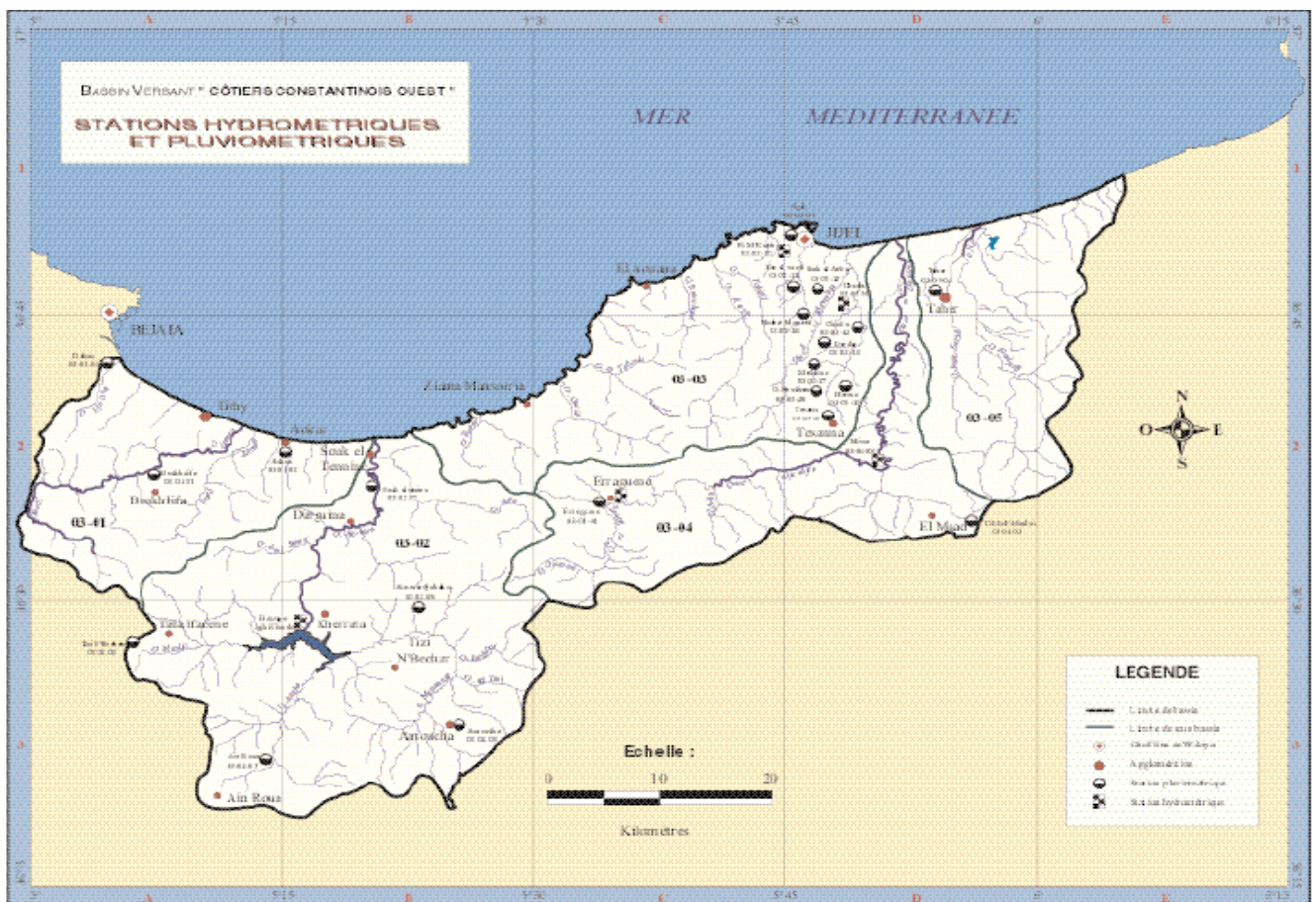


Figure 4 : Carte hydrographique de la Wilaya de Jijel (CA, 2000).

I.3. Géologie de la wilaya de Jijel

Le Nord algérien fait partie de la chaîne des Maghrébides, segment Sud-Méditerranéen de la chaîne Alpine, plissée suite à plusieurs phases tectoniques principalement cénozoïques.

La quasi-totalité de la petite Kabylie est constituée par une couverture tertiaire formée par des sédiments molassiques déposés dans un bassin qui s'est individualisé durant le néogène (bassin néogène de Jijel) ayant pour substratum le socle métamorphique (socle kabyle) effondré (Berkane, 2011).

I.4. Climatologie de la wilaya de Jijel

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

I.4.1. La température

La température de la zone côtière connaissant un adoucissement grâce à la présence d'une végétation abondante, d'eau vive et de la mer. Les valeurs de la température enregistrée sont consignées dans la figure ci-dessous :

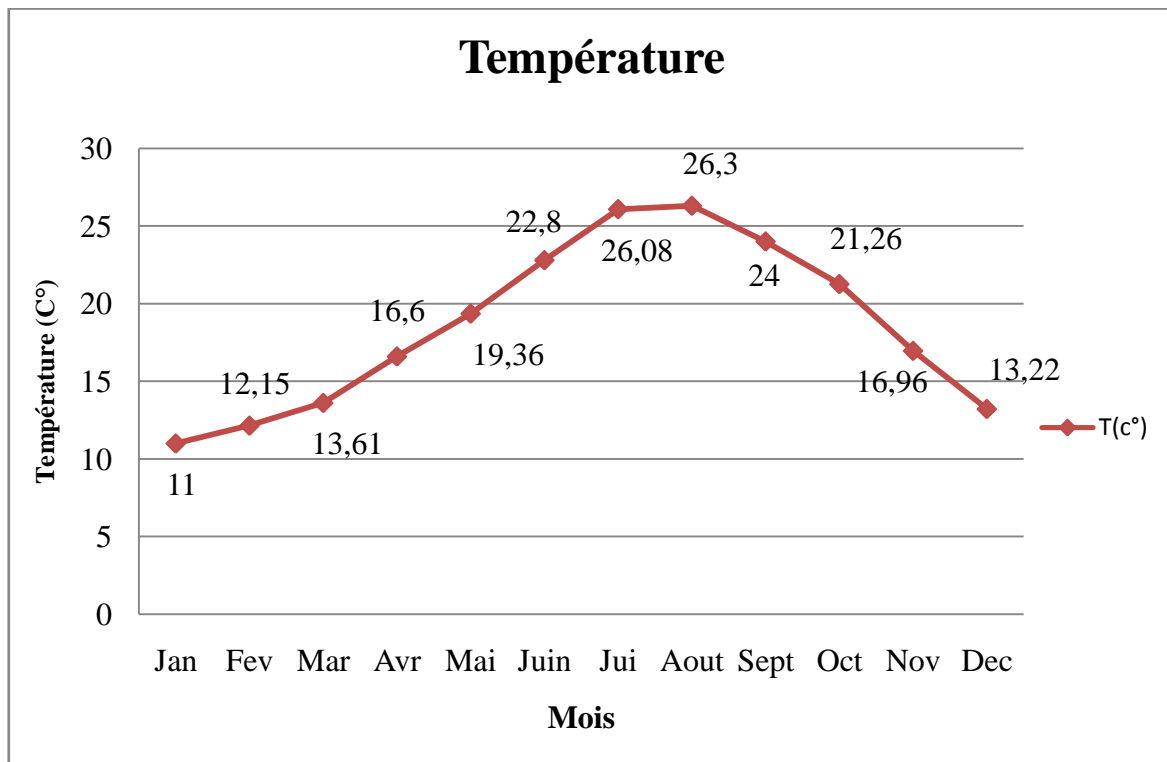


Figure 5: Variations de températures moyennes de la période (2006-2016).

I.4.2. Les précipitations

Les pluies se manifestent essentiellement en automne et en hiver. Les précipitations y sont abondantes aux mois de Décembre, Janvier et Février et sont quasiment nulles aux mois de Juin, Juillet et Aout (ONM, 2017). En outre, la wilaya de Jijel est caractérisée par une pluviométrie décroissante du Nord vers le Sud. Elle est assez élevée sur les monts de Texenna avec plus de 1200

mm/an, alors qu'au niveau des plaines comme la zone de notre étude, les valeurs varient de 900 à 1000 mm/an (figure 6) (Berkane, 2011).

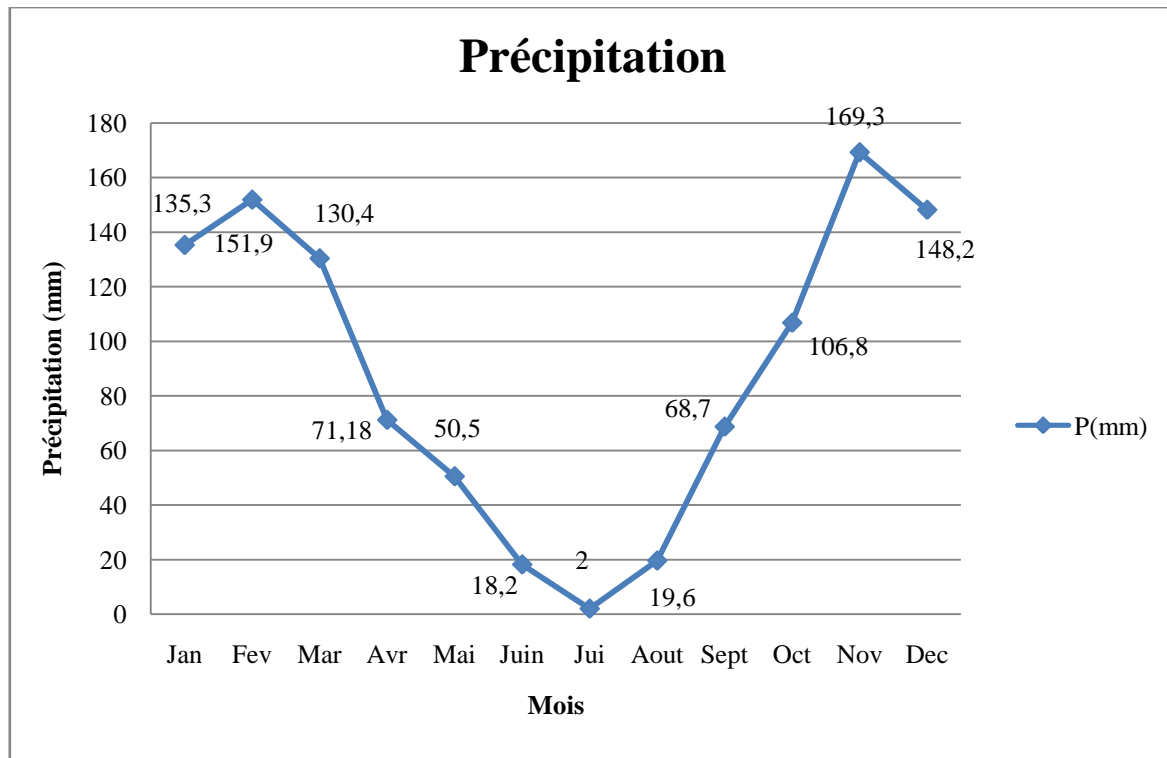


Figure 6: Variations des précipitations moyennes de la période (2006-2016).

I.4.3. Diagramme Ombrothermique de Gaussen

Le diagramme Ombrothermique de Gaussen consiste à apporter en abscisses les mois et en ordonnées les précipitations et les températures, notons toutefois que les valeurs des précipitations sont le double des valeurs des températures (Guyot, 1999). L'analyse de deux paramètres climatiques (précipitation et température) permet de tracer la courbe ombrothermique qui met en évidence deux périodes (figure 7).

- L'une sèche qui s'étale de la fin du mois de Mai jusqu'au début du mois de Septembre.
- L'autre humide s'étale de mois de Septembre au mois de Mai.

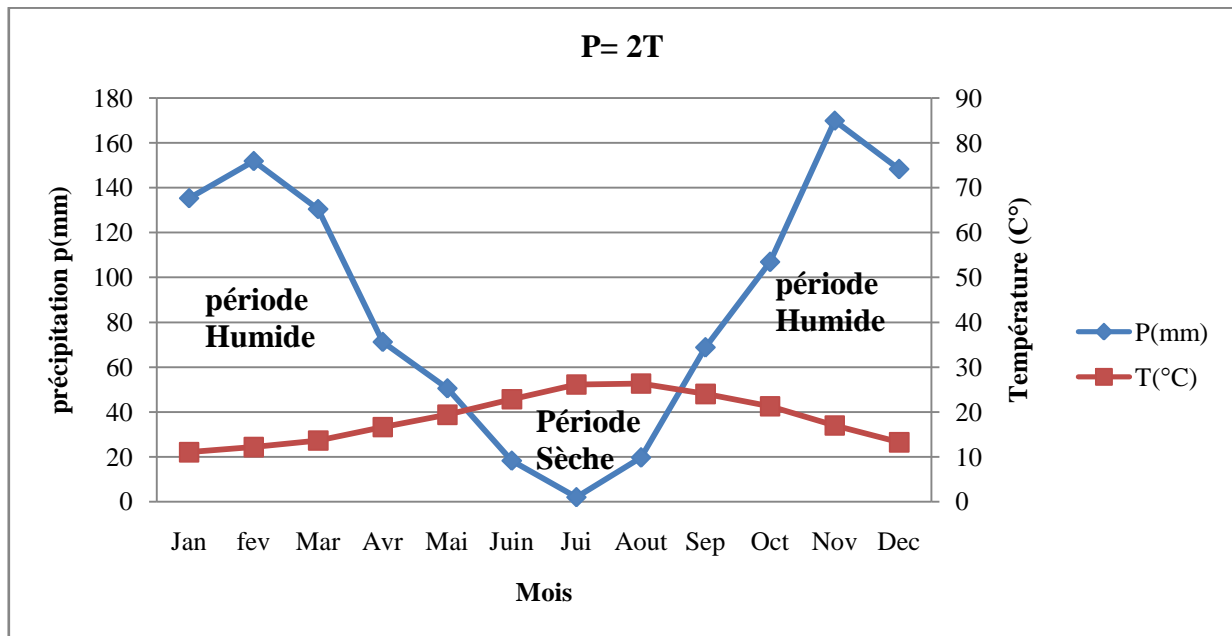


Figure 7: Diagramme Omrothermique de Gaussen (2006- 2016).

I.4.4. L'humidité

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

Les valeurs enregistrées (figure 8) sont relativement homogènes, quoique les variations soient très petites entre les différentes valeurs, nous notons un maximum au mois de Janvier (77.3%) et un minimum en Septembre (66.1%).

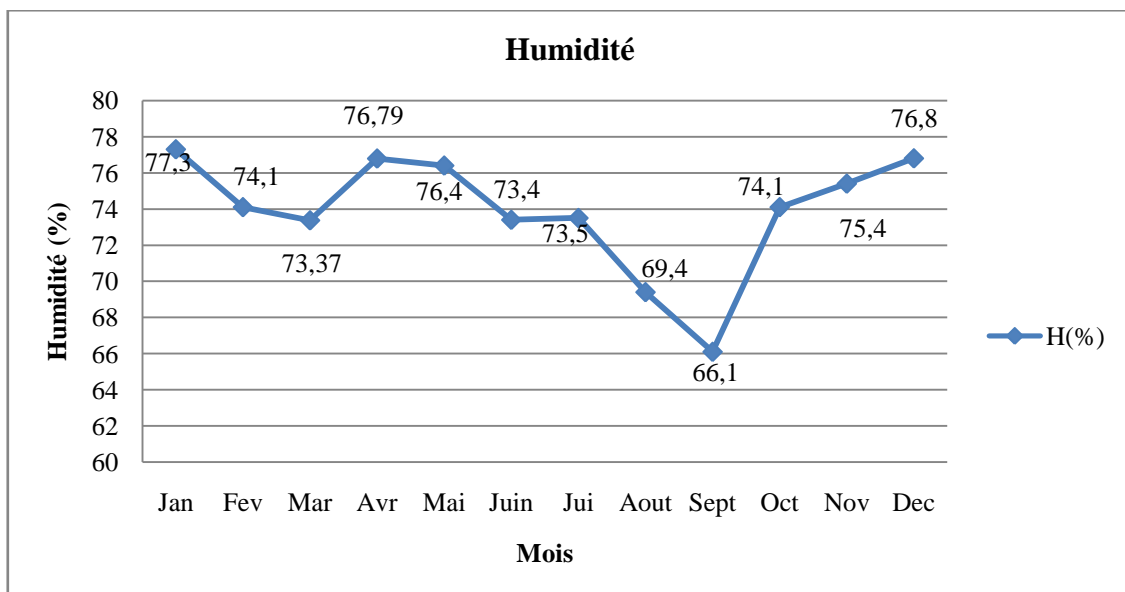


Figure 8: Variations de l'humidité moyennes de la période (2006-2016).

I.4.5. Le vent

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

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

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

I.5. Le contexte socio- économique

I.5.1. Population

L'étude statistique du nombre des habitants dans la wilaya de Jijel comptait selon le dernier recensement (31/12/2016) une population de 736201 habitants. Pour une densité moyenne 307 Ha /Km² avec un taux d'accroissement annuel moyen : 2,04 %, un taux d'urbanisation de 60,95% et une moyenne d'habitant par ménage de 5,64 (**DEP, 2017**).

I.5.2. Le secteur primaire

L'activité agricole est d'une importance économique majeure dans la wilaya de Jijel. Elle occupe une superficie de 98499 Ha. La superficie utile est estimée de 44554 Ha dont 2596 Ha est utile et irriguée à partir des cours d'eaux, des forages, des puits, des bassins versants...etc (**DEP, 2017**).

I.5.3. Les secteurs secondaires

Les régions côtières de la wilaya sont principalement liées à la pêche ainsi que la récolte de liège (fabrication de liège aggloméré et bandes d'étanchéité). La quasi-totalité des activités de caractères industriels existent sous forme de quelques unités de petites tailles (telle que la briqueterie) et entreprises publiques locales en plus de la centrale thermique et la tannerie (traitement de cuir)(**DEP, 2017**).

I.6. Description de la zone d'étude

La ville de Jijel fait l'objet de la zone sélectionnée pour la réalisation de notre travail. Elle s'étale sur une superficie totale de 62,38 Km² et délimitée par la mer Méditerranée, au Nord. Kaous, au Sud. Emir Abdelkader, à l'Est et enfin El-Aouanna, à l'Ouest (figure 9) (DEP, 2017).

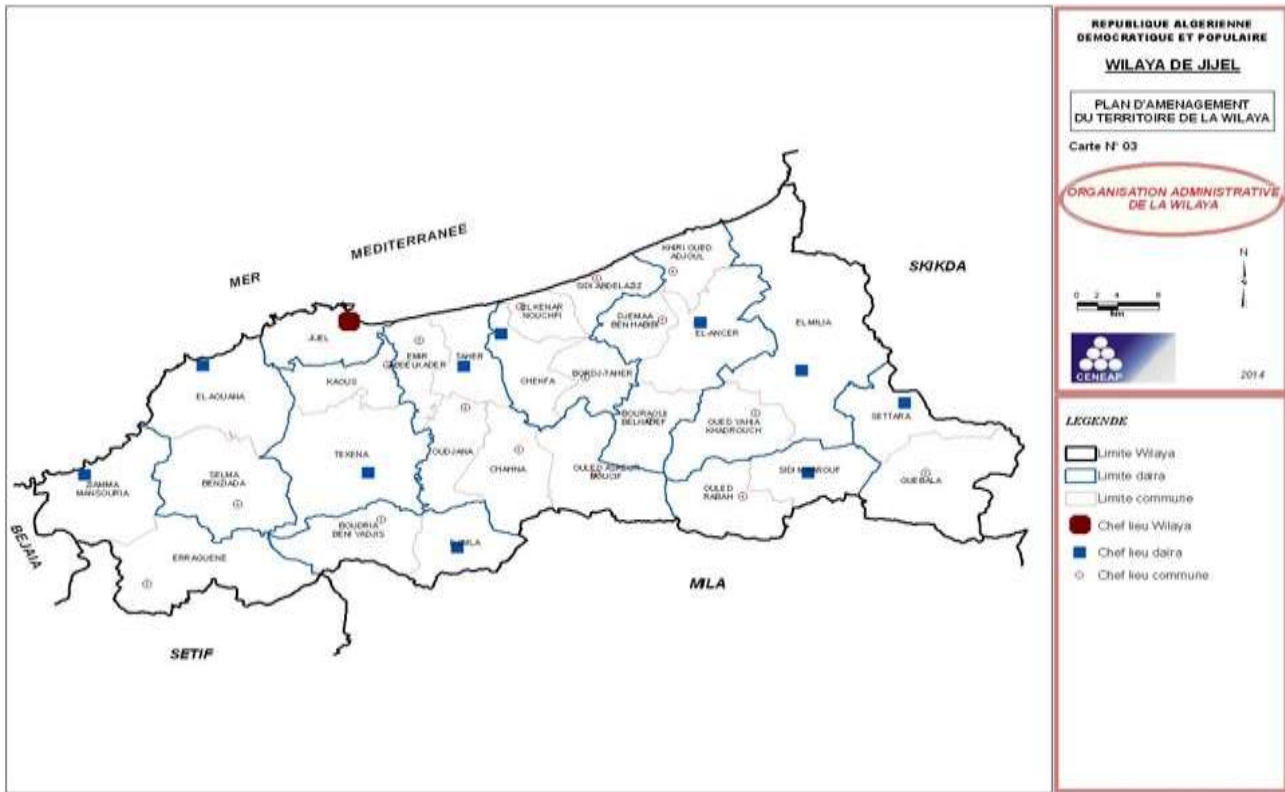


Figure 9: Situation géographique de la Ville de Jijel (DEP, 2017).

La commune de Jijel, ville éponyme de Jijel, est une ville de 155849 populations dont 49,34 % Féminin. La densité de la population est 2493 habits /km² avec un taux d'urbanisation est 97.53%. Elle est caractérisée par la dominance de la pêche comme activité économique pratiquée depuis longtemps par la population locale. Elle constitue, de ce fait, une source de revenus très importante. L'agriculture occupe une surface agricole totale de 2644Ha. La surface utile est estimée de 737 Ha (DEP, 2017).

I.6.1. Situation géographique du barrage de Kissir

Le barrage de Kissir est situé dans la wilaya de Jijel, à une dizaine de kilomètres à l'Ouest de la ville de Jijel. Les oueds qui constituent son bassin versant sont : oued Kissir et oued Taguier avec une superficie de 107 km². Ce bassin est entouré avec un couvert végétal dense qui va diminuer l'évasement du barrage à l'avenir (figure 10) (ANBT, 2017).



Figure 10: la situation géographique du barrage de Kissir (ANBT, 2017).

I.6.1.1. Contexte géologique du barrage de Kissir

Le site se trouve à la limite de deux domaines géologiques principaux. Au Nord le domaine des flyschs dits numidiens est essentiellement composé de grès massifs, au Sud celui des flyschs dit dissociés est composé de marnes et d'alternances marno-gréseuses (ANBT, 2017).

I.6.2. La station de traitement de Kissir

Le site de la station est situé à 9 km à l'Ouest de la ville de Jijel, c'est une station de traitement des eaux brutes de la retenue du barrage de Kissir avec une capacité de 100 000 m³/ jour (ADE, 2017).

I.7. Echantillonnage et technique de prélèvement

Le prélèvement et la préparation des échantillons de l'eau pour le dosage des métaux lourds sont des étapes clés du processus analytique et posent des exigences particulières. A cet égard, les guides d'échantillonnages présentant les techniques de prélèvement appropriées ont été strictement suivis, et le plus grand soin a été donné au maintien des conditions de propreté, pendant la collecte, le transport et lors de l'analyse des échantillons.

I.7.1. Choix des points d'échantillonnage

Afin de déterminer les teneurs en cadmium dans l'eau de consommation de la ville de Jijel, des analyses ont été effectuées sur des échantillons recueillis dans différents points approvisionnant cette ville en eau potable (figure 11).

- La station de traitement de Kissir.
- les châteaux de la ville de Jijel.
- Les robinets d'eau des maisons.

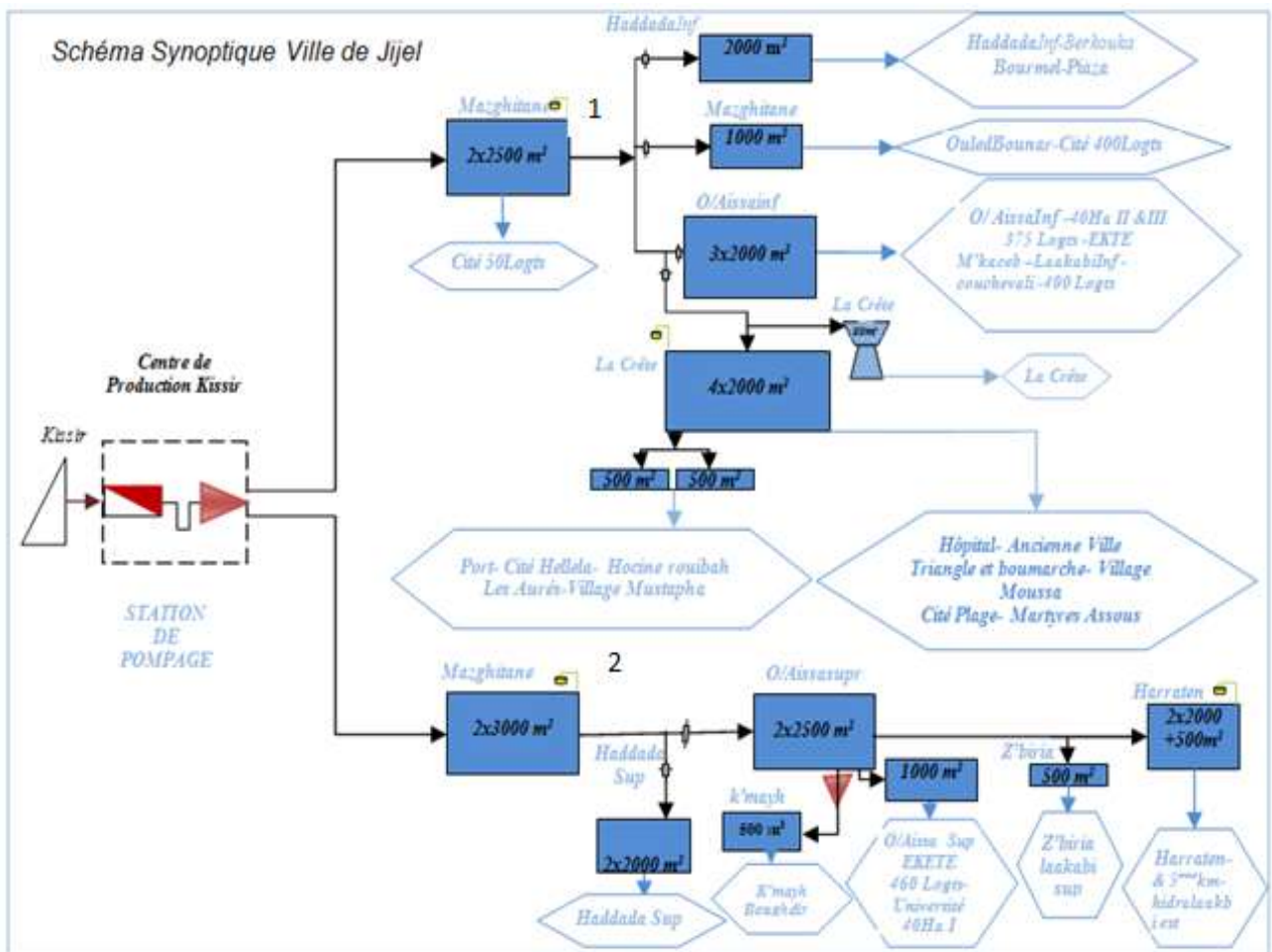


Figure 11 : Schéma représente les points d'échantillonnage (ADE, 2017).

Ce choix devrait nous permettre de suivre la qualité de l'eau depuis la station de traitement jusqu'au consommateur et de situer le moment d'une éventuelle contamination en cadmium ainsi que les causes et les niveaux de cette contamination.

Ont ainsi été effectués :

- Pour l'eau de la station de traitement de Kissir : un seul échantillon prélevé.
- Pour l'eau des châteaux : 12 échantillons.

- Pour l'eau des robinets des maisons : 12 échantillons prélevés des robinets des quartiers de la ville de Jijel (tableau 4).

Tableau 4 : les points d'échantillonnages

Echantillons	Non du site	Abréviation
1	Station de pompage de Kissir	SK
2	Château Mazghitan 1	CM1
3	Château Mazghitan 2	CM2
4	Château Hadadainf	CHI
5	Château Mazghitan	CM
6	Château OuledAissa inferieur	COI
7	Château Crète	CC
8	Château Hadada supérieur	CHS
9	Château Ouled Aissa supérieur	COS
10	Château Kmayah	CK
11	Château Ikité	CI
12	Château Zbirya	CZ
13	Château Haraten	CH
14	Maison Mazghitan cité 50 log	MM 50
15	Maison Hadada sup	MHS
16	Maison Ouled Bounar	MO
17	Maison les 400 logs	M400
18	Maison 40 Hektar I	M40H
19	Maison Ikité	MI
20	Maison Hadada inferieur	MHI
21	Maison Village Mastafa	MVM

22	Maison Boumarché	MB
23	Maison Zbirya	MZ
24	Maison Kmayah	MK
25	Maison Haraten	MH

I.7.2. Prélèvement des échantillons et conservation

I.7.2.1. Flaconnage des échantillons

Pendant toutes les étapes du travail, les consignes pour éviter une éventuelle contamination ont été respectées. Les échantillons ont été collectés dans des flacons en polyéthylène de 250 ml, subisse au préalable un nettoyage minutieux suivant la méthode ultra- propre : lavage des flacons avec du détergent, suivi d'un rinçage abondant à l'eau de robinet. Décontamination par l'acide nitrique, cette étape consiste en un trempage des flacons dans une solution d'acide nitrique (10 %) pendant 48 heures associé d'un rinçage successif avec de l'eau distillée. En fin, un séchage sous la hotte (ISO, 2003).

I.7.2.2. Prélèvement et conservation des échantillons

Des précautions particulières ont également été prises lors du prélèvement. Pour chaque site, on prélève un flacon. Avant la prise de l'échantillon, chaque flacon est rincé à trois reprises avec de l'eau à analyser et rempli à ras bord jusqu'à ce que le volume d'eau soit renouvelé trois fois. Une fois la prise de l'échantillon est effectuée, le flacon est fermé directement de façon à limiter le plus possible les bulles d'air. Après chaque prélèvement, un étiquetage rigoureux a été effectué pour éviter tout risque de confusion des échantillons (lieu, date,...). Les flacons ont été conservés, depuis le prélèvement jusqu'au laboratoire, dans une glacière portable et réfrigérée (à 4 C°) (ISO, 2003).

I.7.3. Préparation des échantillons

Pour assurer un meilleur conditionnement des échantillons, tous nos échantillons sont acidifiés par 5 ml de l'acide nitrique (HNO₃ 65 %) pour 200 ml d'eau à analyser, afin de ramener le pH de l'échantillon inférieur à 2, car l'acide nitrique concentré est un oxydant puissant qui dissout tous les métaux usuels (ISO, 2003).

Après acidification, tous les échantillons sont filtrés au travers des membranes filtrantes de porosité 0,45 µm avec un appareillage de filtration en verre (filtration sous vide). Nous avons

récupéré le filtrat dans des flacons propres pour déterminer la teneur totale en cadmium dans nos échantillons (**Belli et al., 2009**).

I.8. La méthode d'analyse du cadmium

La Spectrophotométrie d'Absorption Atomique avec Flamme (SAAF) est de loin la méthode la plus couramment utilisée pour le dosage des métaux lourds (**Brokaert, 2005**).

I.8.1. Principe de la spectrométrie d'absorption atomique à flamme

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

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

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

I.8.2. Etalonnage

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

Chapitre II

Résultats et discussion

II.1. Résultats

Les résultats des analyses réalisées sur les échantillons de l'eau destinée à la consommation humaine dans la ville de Jijel sont synthétisés sous forme de tableaux, représentés graphiquement et commentés sous formes de paragraphes.

II.1.1. Concentration du cadmium dans les eaux de consommation depuis la source jusqu'au consommateur

Le tableau 5 et la figure 12 présentent les concentrations du cadmium dans les eaux de consommation de la ville de Jijel dans les différentes stations depuis la source (station de Kissir) jusqu'aux consommateurs (les robinets des maisons).

D'après les résultats des analyses obtenus dans notre étude, nous avons constaté que les teneurs en cadmium dans les eaux de toutes les stations retenues, depuis la source (barrage de Kissir) jusqu'au consommateur (les robinets des maisons) sont très importantes, voire dangereuses en ce métal hautement toxique et qui dépassent de loin la norme préconisées par l'OMS et la norme algérienne ($3\mu\text{g/l}$) pour les eaux de consommation.

On a constaté également que ces concentrations sont légèrement variables d'une station à l'autre (figure 12). La teneur la plus basse de ce métal est observée au niveau de l'eau des robinets des maisons les 400 logs (M 400) avec $5,2\ \mu\text{g/L}$, alors que la teneur la plus élevée est enregistrée au niveau de Château Ouled Aissa supérieur (COS) avec $82,2\ \mu\text{g/L}$.

Tableau 5: Les teneurs en cadmium ($\mu\text{g/L}$) dans les eaux de consommation dans la ville de Jijel.

station	abréviation	Type de station	Cd ($\mu\text{g/L}$)
Station de Kissir	SK	La source	26,2
Château Mazghitan 1	CM1	Stockage	52,5
Château Mazghitan 2	CM2	Stockage	38,5
Château Hadada inf	CHI	Stockage	50,7
Château Mazghitan	CM	Stockage	31,5
Château Ouled Aissa inférieur	COI	Stockage	28,0
Château Crète	CC	Stockage	19,2
Château Hadada supérieur	CHS	Stockage	77,0
Château Ouled Aissa supérieur	COS	Stockage	82,2
Château kmayah	CK	Stockage	28,0
Château Ikité	CI	Stockage	52,5
Château Zbirya	CZ	Stockage	36,7
Château Haraten	CH	Stockage	24,5
Maison Mazghitan cité 50 log	MM 50	Robinet	57,7
Maison Hadada sup	MHS	Robinet	17,5

Maison Ouled Bounar	MO	Robinet	38,5
Maison les 400 logs	M 400	Robinet	5,2
Maison 40 Hektar I	M 40 H	Robinet	52,5
Maison Ikité	MI	Robinet	42,0
Maison Hadada inferieur	MHI	Robinet	56,0
Maison Village Mastafa	MVM	Robinet	22,7
Maison Boumarché	MB	Robinet	40,2
Maison Zbirya	MZ	Robinet	50,7
Maison Kmayah	KM	Robinet	29,7
Maison Haraten	MH	Robinet	61,2
Moyenne	25	25	40,85

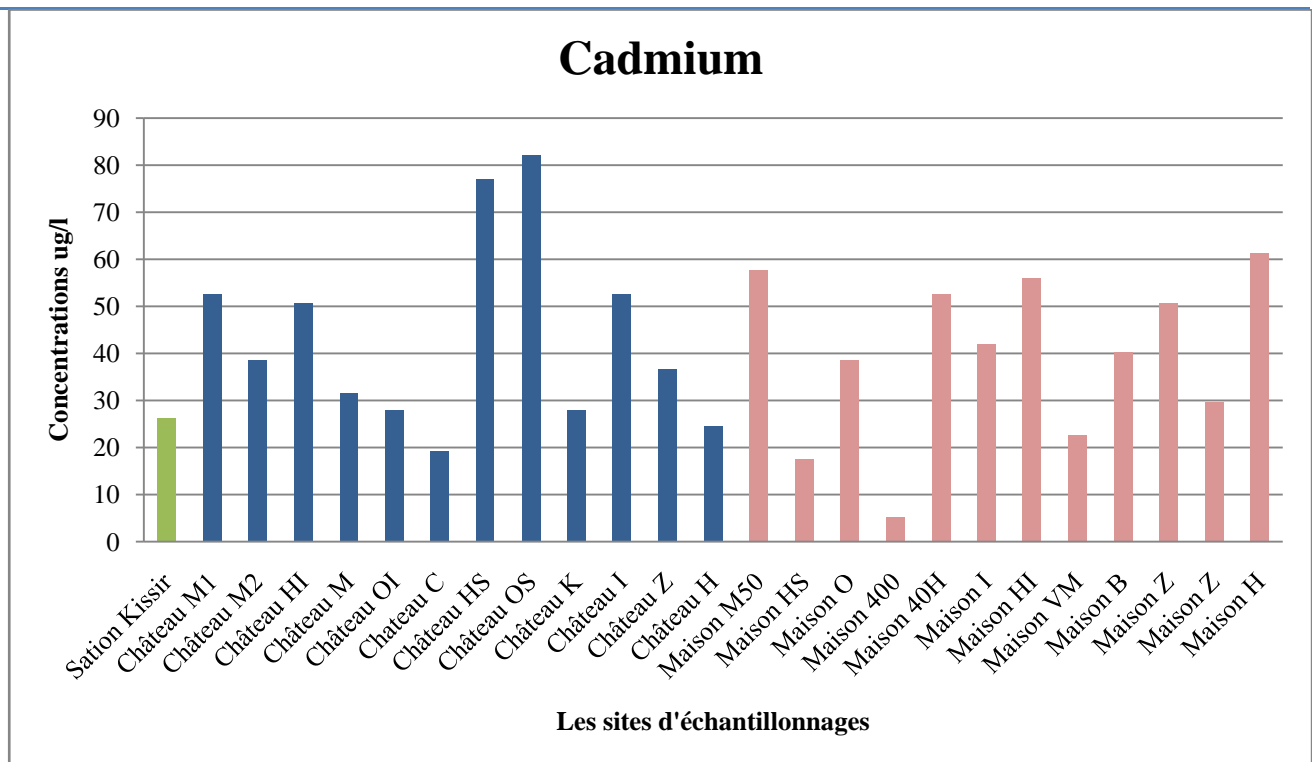


Figure 12 : Teneurs en cadmium dans les eaux de consommation de la ville de Jijel depuis la source jusqu'aux consommateurs.

II.1.2. Variations de concentrations du cadmium en fonction des étapes de production de l'eau de consommation

La figure 13 et le tableau 6 montrent les variations des concentrations moyennes en cadmium dans les eaux échantillonnées selon les étapes de production de l'eau de consommation. Sur ce principe ; les stations retenues sont groupées en trois catégories : la station de traitement de Kissir (SK), les châteaux d'eaux (SK) et les maisons (SM).

L'objectif principal de cette démarche est d'essayer de déterminer le moment de la contamination depuis la source (groupe présenté par la station de pompage de Kissir), passant par les châteaux de stockage et de distribution de l'eau et arrivant enfin aux robinets des consommateurs.

Au regard l'histogramme de la figure 13 et le tableau 6, nous constatons une augmentation relative dans les teneurs moyennes en cadmium entre la source de Kissir et les autres stations.

L'intervalle de variation oscille entre un minimum de l'ordre de 26,2 $\mu\text{g/L}$, signalé au niveau de la station de Kissir, et un maximum de l'ordre de 43,44 $\mu\text{g/L}$ détecté dans les châteaux d'eau.

Tableau 6 : Variations de concentrations du cadmium en fonction des étapes de production de l'eau de consommation dans la ville de Jijel.

Station	Moyenne de Cd ($\mu\text{g/L}$)	Médian	min	max	Erreur standard	Intervalle de confiance IC 95%
Station de Kissir	26,2	-	-	-	-	-
Châteaux d'eau	43,44	37,60	19,20	82,20	5,82	30,61 – 56,26
Maisons	39,49	41,10	5,20	61,20	5,08	28,29 - 50,68

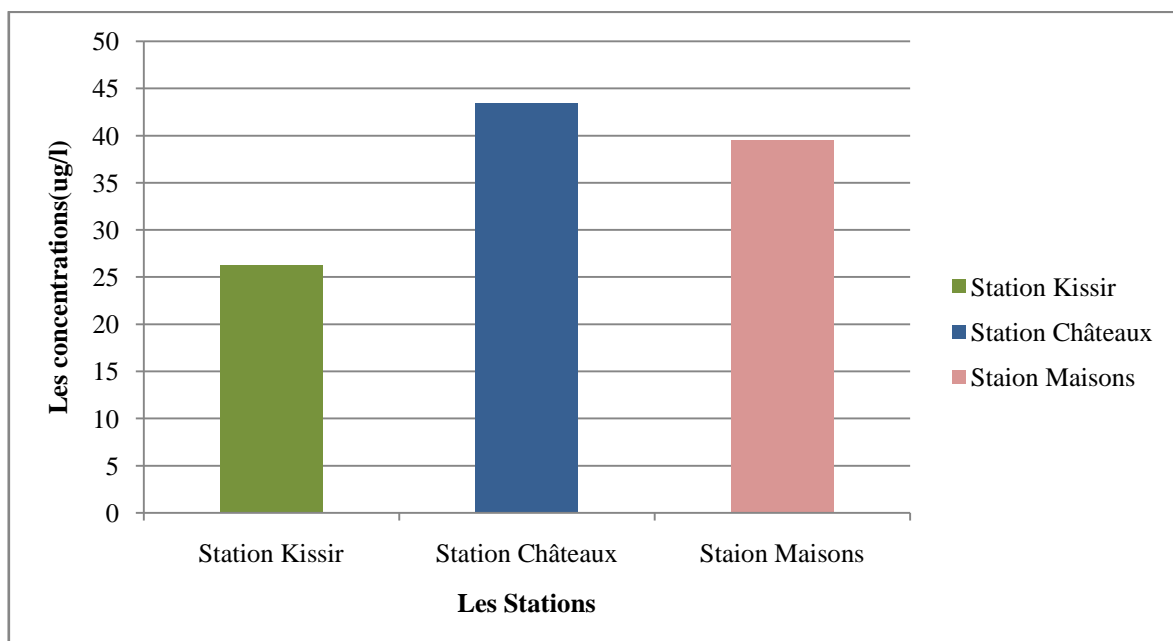


Figure 13 : Variations des teneurs en cadmium entre les stations selon les étapes de production de l'eau de consommation dans la ville de Jijel.

II.1.3. Etude de variations des teneurs en cadmium entre les châteaux d'eau et les robinets des maisons

Les stations 3 (Mazghitan 2/ maison Mazghitan cité 50 log) ,4 (Hadada inferieur/ maison Hadada inferieur) ,5 (Mazghitan/ maison Ouled Bounar), 7 (Crète/ maison village Mastafa), 8 (Crète/ maison Boumarché), 11(Kmayah/ maison Kmayah), 13 (Zbirya/ maison Zbirya) et 14 (Haraten/maison Haraten) (Figure 14) ont des teneurs en cadmium supérieures au niveau des maisons par rapport aux châteaux qu'ils l'aliment.

La station 14 (Haraten/maison Haraten) montre l'écart de concentration le plus important, tandis que la station 11 enregistre des faibles variations entre le château et le robinet de maison.

Pour les autres stations on observe le cas contraire où les teneurs en Cd sont plus supérieures au niveau des châteaux que des maisons, avec la variation la plus importante est enregistrée au niveau de la station 9 (Hadada supérieur/maison Hadada supérieur) et la plus faible au niveau de la station 12.

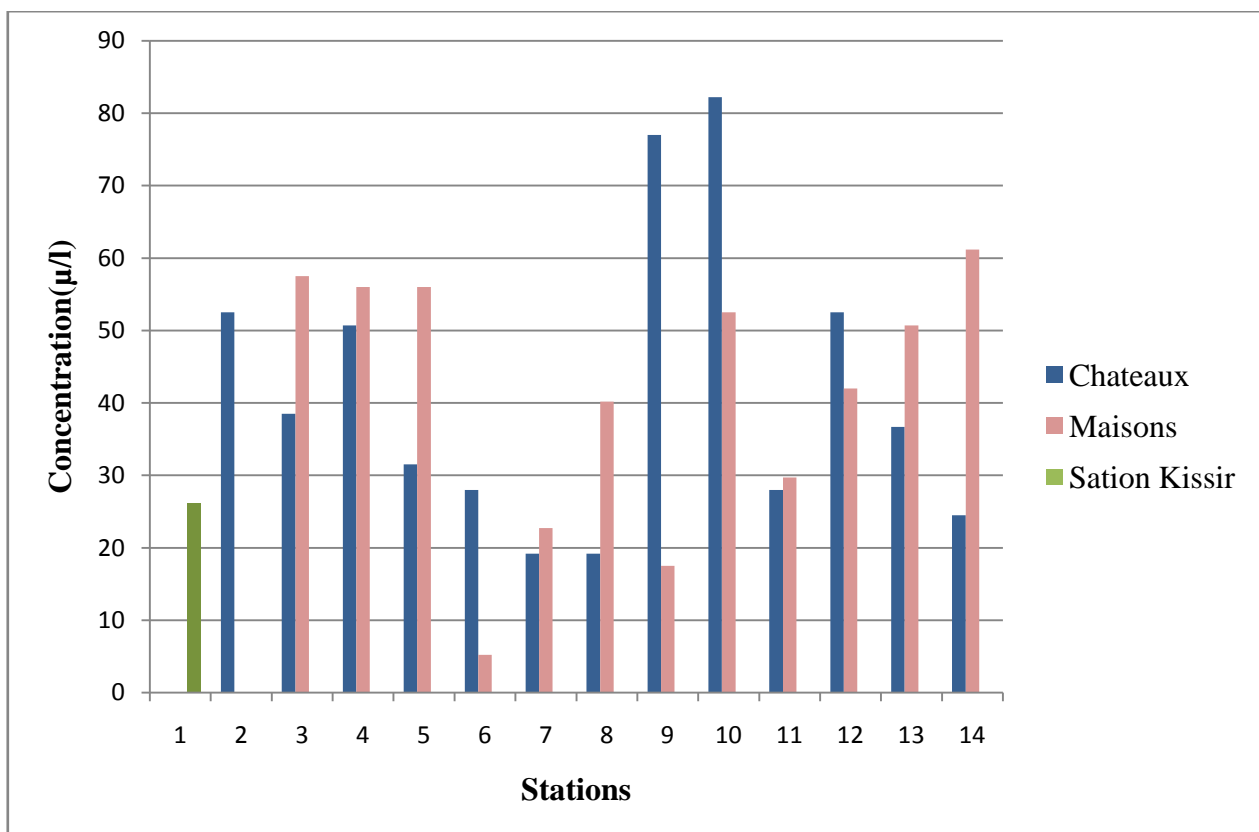


Figure 14 : Variations des teneurs en cadmium entre les stations château/maison.

II.2. Discussion

La toxicité des métaux lourds comme le plomb, le mercure ou le cadmium constitue une préoccupation environnementale majeure qui conduit les gouvernements à en réglementer les émissions en en fixant des teneurs limites. Cependant les sources de pollution par les métaux, et c'est le cas du cadmium, sont bien sûr pour une part d'origine anthropique mais aussi d'origine naturelle et donc pas toujours contrôlables (**Joris, 2005**).

Par rapport aux autres métaux tels le plomb, le cadmium est un métal relativement rare dans la nature. Sa stabilité dans l'eau est fonction du pH et du potentiel d'oxydoréduction (**Debieche, 2002**). L'eau est un élément très important pour la pollution par les métaux lourds, car elle sert d'une part de vecteur, mais peut également entraîner des modifications chimiques selon la salinité ou la température, ce qui est essentiel puisque les divers composés du cadmium présentent des effets toxiques variables selon leur solubilité et donc leur facilité d'assimilation par un organisme (**Jumariet al., 2001**).

La présente étude vise à réaliser un état des lieux qualitatif des eaux de consommation distribuée via le réseau publique au niveau de la ville de Jijel concernant le cadmium, et donc de prélever l'eau de sa source, présentée par la station de traitement de Kissir, des châteaux d'eaux, lieu de stockage et distribution et directement des robinets des consommateurs.

Cet objectif s'est imposé pour répondre à la question de la qualité de cette eau en fonction des étapes de production, de stockage et de distribution jusqu'à l'arrivée aux robinets des consommateurs. De fait, à la question de l'éventuelle contamination de l'eau à la source s'ajoute celle de la vulnérabilité de cette eau à la contamination dans la sphère : transport vers les châteaux d'eau, stockage et distribution aux maisons.

D'après les résultats de la présente étude, les concentrations du cadmium sont très élevées dans toutes les stations. Ceci traduit une contamination certaine et dangereuse depuis la source d'eau de consommation dans la ville de Jijel, dont les teneurs dépassent de loin tant les normes préconisées par l'OMS que la norme algérienne (3 µg/l), ainsi que les autres standards internationaux (APEÉU, CEE, FTP-CEP, PQECHA et NOM).

Des résultats similaires ont été mentionnés dans l'étude de (**Lindomar et al, 2007**) qui montre des concentrations comprise entre 30 et 50 µg/L. Des concentrations fortement élevées à ceux de la présente étude ont été recordées au Rio Rimao en Peru en 1989 avec un maximum de 100 µg/L. Alors que la concentration médiane du cadmium dans l'eau de consommation humain mesurée dans 110 sites différents dans le monde été inférieur à 1 µg/L (**WHO/UNEP, 1989**).

Mohamed et Osman (1998) montrent une moyenne de $2,2 \pm 0,63 \mu\text{g/L}$ du cadmium dans l'eau potable dans le Grand Caire, en Égypte. Cette concentration est largement inférieure à nos résultats et aux normes d'eau potable internationalement reconnues. En effet, **(Friberg et al, 1986)** constate que la concentration du cadmium dans les eaux naturelles dans les zones non polluées ne dépasse pas $1 \mu\text{g/L}$.

Contrairement à ce que l'on pense généralement que la ville de Jijel est une ville moins polluée par rapport aux autres villes voisines industrielles telles qu'Annaba et Skikda, les résultats présentés dans notre étude suggèrent des origines à la fois naturelles et anthropiques. En effet, notre principale hypothèse pour expliquer ces teneurs anormalement élevées en cadmium dans le barrage de kissir repose sur la contribution non négligeable de l'origine géologique qui due à l'érosion et la mobilisation du cadmium particulaire présent dans les roches de terrain de barrage vers les eaux de surface et la nappe phréatique, dont une partie peut être de nouveau piégée dans les sédiments **(Joris, 2005)**.

En d'autre partie, la concentration des métaux dans l'eau de consommation peut être augmentée lors de la corrosion des canalisations par des eaux acides **(OMS, 2000)**. Or, le cadmium présent comme impureté dans les tuyaux galvanisés, ou comme métal dans les baguettes de soudage ou de brasage des tuyauteries des chauffe-eau et des fontaines réfrigérées peut contaminer l'eau peu avant sa distribution. Ce risque est accru si l'eau est légèrement acide et contient peu de minéraux dissous. En effet, les différences entre les châteaux d'eau et les maisons alimentées par ces derniers apparaissent comme conséquences logique et probable de ce phénomène. Les sites le plus proche de la station de traitement des eaux connaît des valeurs plus faibles (Mazghitan, Ouled Aissa inférieur, Crète). En revanche, les sites les plus éloigné des stations de Kissir qui l'alimentent, montre les plus fortes teneurs en cadmium (Ikété, Zbirya).

D'autres sources probables peuvent également contribuer dans l'enrichissement des eaux de barrage en cadmium. La présence d'une ancienne décharge publique au niveau de montagne de Mazghitane, les déchets en matières plastiques, huiles de moteurs, piles ainsi que les dépôts atmosphériques.

En d'autre partie l'effet canalisation semble également figuré parmi les causes les plus fortement proposer pour justifier ces teneurs élevées en Cd, ce constat est particulièrement logique si on observe que le pic de concentration en Cd se situe au niveau des maisons de la quasi-totalité des quartiers. C'est le cas de la station 7 et 8 (Crète), où on constate un effet canalisation plus accentué où le même château qui alimente deux quartiers, Village Mustapha et Boumarché, ce dernier montre des teneurs plus élevées par comparaison au quartier village Mustapha.

En outre, les recherches récentes ont apporté des données inattendues sur la contribution des biofilms microbiens se développant sur les surfaces internes des canalisations d'eau potable dans la manipulation des teneurs en métaux lourds, dont le cadmium, dans les eaux traversant ces canaux. En effet, les microorganismes peuvent immobiliser, mobiliser, ou transformer les métaux par des réactions de précipitation extracellulaires, de l'accumulation intracellulaire, des réactions d'oxydoréduction, et par l'adsorption de surface et la complexation (**Adriano, 2001 ; Masoura et al., 2006**). De plus, la forte rétention des métaux par les bactéries pourrait justifier également la chute considérable dans la concentration du Cd dans certaines stations (château d'eau /maisons). Par ailleurs, la corrosion bactérienne (biocorrosion) des canalisations où les bactéries agissent directement ou par l'intermédiaire de leur métabolisme en créant des corrosions dans les canaux semble également un autre phénomène agissant sur l'enrichissement des eaux potables en éléments métalliques dont sûrement le cadmium.

De plus, il existe différentes formes de composés (physico-chimiques) de métaux. L'ensemble de toutes les formes de composés d'un métal à un endroit donné est appelé la « spéciation ». Une bonne compréhension de la spéciation est très importante pour pouvoir évaluer les risques. Les métaux peuvent être présents aussi bien dans des combinaisons très stables et peu assimilables que dans des combinaisons assimilables et même volatiles. Ces formes influent grandement la teneur ainsi que la disponibilité, donc la toxicité des métaux (**Steketee et Tauw, 2010**).

Ces résultats confirment donc un grave risque sanitaire pour la population consommatrice de cette eau contaminée.

Conclusion

Conclusion

L'eau est la plus répandue sur terre. C'est un élément indispensable à toute forme de vie, L'eau de consommation est une eau qui est apte à être consommée par l'être humain, cette dernière peut contenir des substances polluantes, c'est pourquoi, elle a besoin d'être protégée, traitée et économisée.

Dans l'optique générale de cette problématique cette étude a été menée dans l'objectif principal est d'évaluer le niveau de la contamination par le cadmium dans les eaux de consommation pendant toutes les étapes de cycle de production de l'eau potable, servant à l'alimentation des citoyens de la ville de Jijel.

Les résultats des analyses effectuées ont permis de mettre au point la présence des concentrations très élevées en Cd qui dépassent fortement les normes requises, depuis la source (barrage de Kissir) jusqu'au consommateurs (les robinets des maisons).

De ces résultats, on peut signaler une grave et sérieuse contamination des eaux de consommation humaine par le cadmium qui atteint particulièrement les eaux de robinets de la quasi-totalité des quartiers alimentés via les châteaux d'eau depuis la station de pompage de Kissir. La présence du Cd comme impureté dans les tuyaux galvanisés, ou comme métal dans les baguettes de soudage ou de brasage des tuyauteries des chauffe-eau et des fontaines réfrigérées demeurent les principales sources de cette augmentation croissante dans la courbe de pollution depuis la source de Kissir.

Toutefois, les eaux de la station de Kissir et les châteaux d'eau ne semblent pas exempte de pollution, quant à eux, les causes probables peuvent être à la fois d'origine géologique telles que l'érosion et la mobilisation du cadmium particulaire présent dans les roches de terrain de barrage vers les eaux de surface et anthropique telles que l'effet de canalisation, les déchets en matières plastiques, huiles de moteurs, piles ainsi que les dépôts atmosphériques.

Sur la base des résultats obtenus, il est important non seulement de mettre à la disposition des populations des équipements d'approvisionnement en eau potable mais aussi de promouvoir l'éducation sanitaire pour éviter la pollution de l'eau.

De ce fait, un contrôle rigoureux de ces eaux doit être réalisé par des gens spécialisés, ce qui permettra une bonne bio surveillance de cet écosystème. Ainsi une bonne connaissance des différentes sources de pollution pouvant l'affecter, s'impose afin d'éviter tout risque de pollution dont les conséquences sont souvent irréversibles.

En perspectives il serait plus important:

- De sensibiliser les populations et les inciter avant la consommation de l'eau.
- D'établir et respecter des normes nationales de la qualité des eaux de surface.
- De réaliser des analyses périodiques sur les métaux lourds pendant toutes les étapes de production de l'eau potable.

N'empêche qu'il reste toujours des questions ouvertes à poursuivre pour y répondre, comme c'est le cas de l'estimation précise de la contribution de fond pédogéochimique dans l'enrichissement des eaux de barrage en cadmium.

Références bibliographiques

A

ADE., 2017. Algérienne des Eaux, Système de production de : Kissir- Jijel, p 6.

Adriano D.C., 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments - Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals, Springer Eds, New York, p 880.

ANBT., 2017. Agence Nationale des Barrages et Transferts, Barrage de Kissir, Wilaya de Jijel.

Andujar P., Bensefa C. L., Descatha A., 2010. Acute and chronic cadmium poisoning, France, p 35.

ANRH., 2016. Agences Nationale des Ressources Hydriques.

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

ATSDR., 1990. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Monographie des polluants. Etats-Unis.

ATSDR., 1999. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toxicological profil for cadmium, US, Department of Health and Human Services. Public Health Services, p 397.

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, p 441.

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

B

Beliefert C., et Perraud R., 2009. Chimie de l'environnement : air, eau, sol, déchets, 2^{ème} édition, Paris, p 317.

Berkane S., 2011. Contribution à l'étude hydrogéologique et hydro chimique de la plaine alluviale d'oued Nil (Wilaya de Jijel), Mémoire d'ingénieur, Univ Constantine, p 192.

Bernard J., 1989. Mémento de technique de l'eau, Tom1, Paris : Edition du cinquantaires, p 68.

Bernard A., 2008. «Cadmium & its adverse effects on human health», Indian J Med Res, vol 128, no 4. p 557-564.

- Belli N., Lahouel M., Chebab S., Tekouk M., Leghouchi E., 2009.** Stress oxydant induit par la coexposition au plomb et au cadmium : deux contaminants des eaux Souterraines de oued nil (jijel - algérie), *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, vol. 23, n° 3, 2010, p. 289-301.
- Boeglin J., 1999.** Contrôle des eaux douces et de consommation humaine, Edition France.p 3-4-5.
- Brignon J.M et Malherbe L., 2005.** Cadmium et ses dérivés. INERIS – Données technicoéconomiques sur les substances chimiques en France, Verneuil en Halatte, p 25.
- Brillant, E., 1993.** Effets de l'intoxication au chlorure de cadmium chez la truite Mouchetée : *Salvelinus Fontinalis*, Thèse de doctorat, univ de Québec. Vol : 157.
- Brokaert J.A. C.,2005.** *Analytical Atomic Spectrometry with Flames and Plasmas*. 2^{ième} édition. Revue et augmentée. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim (Federal Republic of Germany), ISBN: 978-3-527-31282-5. p 414.
- Burgot G., Burgot J.L., 2002.** Méthodes instrumentales d'analyse chimique et application. Méthodes chromatographiques, électrophorèse et méthodes spectrales *tec & doc*, p 306.

C

- CA (Cahiers de l'Agence), 2000.** Bassin des côtières constantinois, Cahier numéro 4.
- Callahan M. A., Slimak M. W., Gabel N. W., May I. P., Fowler C. F., Freed J. R., Jennings P., Durfee R. L., Whitmore F. C., Maestri B., Mabey W. R., Holt B. R., and Gould C., 1979.** *Water-related environmental fate of 129 priority pollutants. Volume 1: Introduction and technical background, metals and inorganics, pesticides and PBCs*, Washington, D.C. 20460, Office of Water Planning and Standards Office of Water and Waste Management, U.S, Environmental Protection Agency, EPA-440/4-79-029a.
- Campbell P. G. C., 1995.** Interactions between trace metals and organisms: critique of the free-ion activity model. *Metal speciation and bioavailability in aquatic systems*, A. Tessier et D. R. Turner, J.Wiley & Sons, Chichester, UK, p 45-97.
- Casas S., 2005.** Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus Galloprovincialis* en milieu méditerranéen, Thèse de doctorat, univ du Sud Toulon var, p 364.
- Cazaban M., Duffour J., Fabbro P., 2005.** Santé publique, 5^{ème} édition, p 242.
- Checkley W., 2004.** Effect of water and sanitation on childhood health in a poor Peruvian peri-urban community. In: *qualité de l'eau*. Gérin M., Gosselin P., Gordier S., Viau C., Quénel P., Dewailly E., rédacteur.edisem/TES et DOC, ministère de la santé, Paris, p 112-118.
- Colin., 2007.** *Dictionnaire de l'environnement*, Paris, p 403.

- Collin J J., 2004.** Les eaux souterraines, Connaissance et gestion, France, Edition BRGM, p 56.
- Coulibaly K., 2005.** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de bamako, Thèse de doctorat, Univ de Bamako, p 69.
- Cossa D et Lassus P., 1989.** Le cadmium en milieu marin, Biogéochimie et écotoxicologie, Editions Ifremer, Plouzané, France, p 16-111.
- Cotton F.A., et Wilkinson G., 1972.** Zinc, cadmium and mercury. Dans: Advanced inorganic chemistry, 3e édition, Interscience Publishers, p 503.

D

- Damy P. C., 2011.** Synthèse des connaissances sur l'origine et la disponibilité du cadmium dans les eaux continentales, Synthèse documentaire, p 39.
- Dange C., 2002.** Etude du comportement des éléments traces en milieu estuarien : Approche expérimentale et modélisation, Thèse de doct, Univ de Reims Champagne Ardenne, p 423.
- Debieche T.H., 2002.** Evolution de la qualité des eaux (salinité. azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle : Application à la basse plaine de la Seybouse-Nord-est Algérien, Thèse de doctorat en hydrogéologie et l'environnement, Univ de Franche-Comté, France, p 235.
- Degremont G., 2005.** Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10^{ème} édition : Tec et doc, p 3.
- DEP., 2017.** Direction d'Equipement Publique, Fiche de synthèse de la Wilaya de Jijel Les indicateurs sociaux économiques.

F

- Fabián F. L., Fernando L.V., Prócoro G. M., Silvia L. S., Elsa N. A.G., Arturo I. M, Gildardo H.M., Raúl H.M., Manuel A.A. G., Ixchel R. P., 2013.** Heavy metal pollution in drinking water - a global risk for human health: A review, Mexico, Vol.7(7), p 567-584.
- Friberg, L., Piscator, M., Nordberg, G.F. Kjellstrom, T., 1974.** Cadmium in the environment. 2e édition. CRC Press. Cleveland. OH .
- Friberg L, Nordberg GF, Vouk VB, eds., 1986,** Handbook of the toxicology of metals. Vol. II. Amsterdam, Elsevier, p 130–184.

G

Gagneux S., 2006. Les métaux (Cd, Cu, Pb et Zn) dans la production des microalgues sur différents milieux de culture : biodisponibilité, bioaccumulation et impact physiologique, thèse de doctorat, Univ de Nantes. p 273.

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. p 192.

Genin B., Chauvin C et Ménard F., 2003. Cours d'eau et indices biologiques, 2^{ème} Edition, Edition Educagri, Dijon, p 15.

Gérin M., Gosselin P., Cordier S., Viau C., Quénel P., Dewailly E., 1996. qualité de l'eau, rédacteurs, Edisem/Tec et Doc, ministère de la santé, Paris, p 32.

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

Gonzalez J. L., Chiffolleau J. F., Miramand P et Thouvenin B., 1999. Le cadmium: comportement d'un contaminant métallique en estuaire, Programme scientifique Seine Aval, Editions Ifremer, Plouzané, France, p 31.

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

Grosclaude G., 1999. L'eau Tom II usages et polluants, édition Paris, p 59- 64.

Guyot G., 1999. Climatologie de l'environnement, 2^{ème} édition, Dunod, Paris, p 505.

H

Holmstedt B., Lauwerys R., Mercier M et Roberfroid M., 1978. Elsevier/North Holland Biomedical Press, Amsterdam, cité au renvoi 46. p 569.

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

Jeannot R., Lemiere B., Chiron S., Augstin F., Darmendrial D., 2001. Guide méthodologique pour l'analyse des sols pollués, Document du BGRM éds, p 85.

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

JORA (Journal officiel de la république Algérienne), 2011. Paramètres de Qualité de l'Eau de Consommation Humaine.n°18du 23 mars 2011.

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, p 265.

K

Kjellstrom, T., Friberg, L., Rahnster, B., 1979. «Mortality and cancer morbidity among cadmium-exposed workers», *Environ Health Perspect*, vol, 28, p 199-204.

L

Leyral, G et Vierling, E., 2007. Microbiologie et Toxicologie des aliments Hygiène et sécurité alimentaire, 3^e éditions, Biosciences et technique, France, p 268.

Le floche M., 2004. Caractérisation physicochimique et traçage des émissions particulaires 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 (Aix Marseille III), p 366.

Le bleu N., 2007. Désinfection des eaux par procédés membranaires : étude des mécanismes de transfert des bactéries, Thèse de doctorat. Univ de Toulouse III – Paul Sabatier, p 286.

Le petit Larousse., 2014. Paris Cedex 06, p 403.

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

Lounnas., 2009, Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi- Kroma de Skikda, Mémoire de Magister, Université du 20 Août 1955 Skikda, p 120.

M

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

Mohamed M.A.M., Osman M.A., 1998. Lead and Cadmium in Nil River water and finished drinking water in greater Cairo, Egypt, volume 24, p 767-772.

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

Massoura S., Echevarria G., Becquer T., Ghanbaja J., Leclerc-Cessac E. & Morel J.L., 2006. Nickel bearing phases and availability in natural and anthropogenic soils. Geoderma (accepté).

N

Nordberg, Gunnar F., Koji Nogawa, Monica Nordberg, Lars T. Friberg, F. Nordberg Gunnar, A. Fowler Bruce, Nordberg Monica et T. Friberg Lars. 2007. «Cadmium». In Handbook on the Toxicology of Metals (Third Edition). p 445-486.

O

OMS., 1974. Organisation mondiale de la santé. Environmental health criteria for cadmium, p 288.

OMS., 1994. Organisation mondiale de la santé, Directive de qualité pour l'eau de boisson, vol 1, recommandations, 2^e éd., Genève, p 202.

OMS., 2000. Organisation Mondiale de la Santé, directive de qualité pour l'eau de boisson-deuxième édition, Genève, Volume 2. p 11.

OMS., 2004. Directive de la qualité de l'eau de boisson, Genève, 3^{ème} édition, Vol 1, recommandations OMS, p 6.

OMS., 2011. Guidelines for drinking-water quality (4th ed 4), world health organisation (WHO), Genève, p 541.

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

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

P

Pichard A., 2005. Cadmium et ses dérivés. Fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, ERIS- DRC, p 102.

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

Pillier, F., 2002. Biotex : guide biotoxicologique pour les médecins du travail. INRS. Paris p 202.

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

R

Raspor B., 1980.Distribution and speciation of cadmium in natural waters.In Cadmium in the environment, Part 1, Ecological cycling, Nriagu. J. O. (ed.) Toronto, John Wiley and Sons, p 147-236.

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

S

Smets H., 2005. Pour un droit effectif à l'eau potable, France : Edition révisée, p 142.

Steketee J et Tauw B, 2010. Métaux lourds, Cahiers SKB, p 40.

W

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

Z

Zmirou D., 2000. Quels risques pour notre santé? Edition Suros, p 335.

Annexes

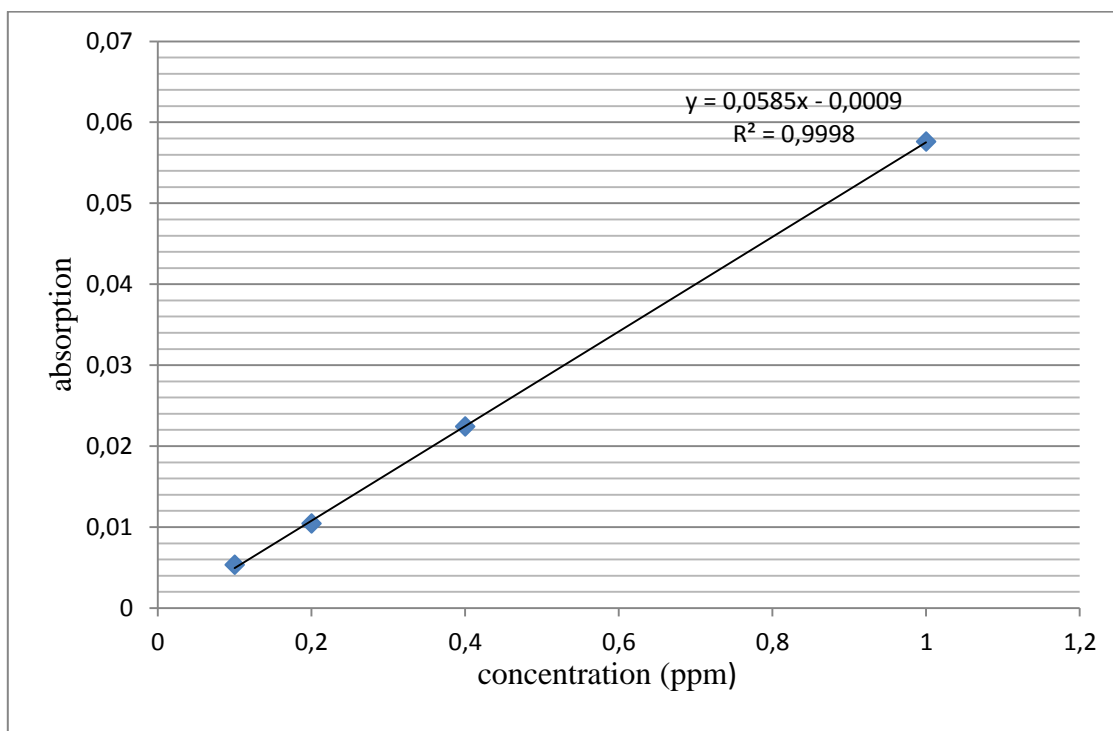
Annexe I

❖ Fiche d'information sur les conditions d'échantillonnage

Nom des stations retenus	Date	Heure	Conditions météo	Transport et conservation
Station de pompage de Kessir	30 Avril 2017	11 h		
Château Mazghitan 1	2 Mai 2017	12 :30 h	Journées ensoleillés	Transport : Dans une glacière Conservation dans réfrigérateur
Château Mazghitan 2				
Château Hadada inf				
Château Ouled Aissa inferieur				
Château Hadada supérieur				
Château Ouled Aissa supérieur				
Château Ikété				
Château Haraten				
Château Mazghitan				
Château Crète				
Château Kmayah				
Château Zbirya				
Maison Mazghitan cité 50 log				
Maison 40 Hektar I				
Maison Zbirya				
Maison Kmayah				
Maison Boumarché				
Maison Village Mastafa	7 Mai 2017	13 :30 h	Journées ensoleillés	Conservation dans réfrigérateur
Maison Hadada sup				
Maison Ouled Bounar				
Maison les 400 logs				
Maison Ikété				
Maison Hadada inferieur				

Annexe II

❖ Courbe d'étalonnage de cadmium



<p>Présenté par : Benayache Nour el houda</p>	<p>Encadreur : M^{me} Balli Nassima</p>
<p>BoudraSamih</p>	<p>Date de soutenance : Juillet 2017</p>
<p align="center">Thème</p> <p align="center">Evaluation des teneurs en cadmium dans les eaux de consommation de la ville de Jijel</p>	
<p align="center">Résumé</p> <p>Afin d'évaluer les teneurs en cadmium dans l'eau de consommation de la ville de Jijel, et la connaissance de circonstances et des sources potentielles de contamination de ces eaux par ce métal, 12 échantillons de châteaux d'eau, 12 échantillons d'eaux de robinet des maisons et un échantillon de la station de pompage du barrage de Kissir ont été analysés et ce selon le plan de distribution des eaux de consommation de la ville de Jijel.</p> <p>Les résultats des analyses effectuées ont montré des teneurs très élevées en Cd qui dépassent fortement les normes d'OMS et les normes algériennes. Les causes probables de ce dépassement peuvent être à la fois d'origine géologique par l'érosion de la roche mère et d'origine anthropique par l'effet de canalisation depuis le barrage de Kissir jusqu'aux robinets des maisons. Cela peut constituer une vraie menace pour la santé des consommateurs de ces eaux et exige la nécessité de rechercher des moyens de décontamination.</p> <p>Mots-clés: eau de consommation, cadmium, contamination, Kissir, châteaux d'eau, robinet des maisons.</p>	
<p align="center">Abstract</p> <p>In order to assess the cadmium levels in drinking water in Jijel city and the knowledge of the circumstances and potential sources of contamination of the water by this metal, 12 samples of water towers, 12 samples of tap water, and one sample of the Kissir dam pumping station were analyzed according to the water distribution plan for the Jijel city. The results of this study showed very high levels of Cd which exceeded the standards established by WHO and the algerian standards. The probable causes of this contamination can be natural essentially related to the degradation of mother rock which known to have a high levels of cadmium and anthropogenic due to the channeling effect from the Kissir dam to the houses water taps. This can constitute a real threat to the health of consumers of these waters and requires the need to look for means of decontamination.</p> <p>Keywords: drinking water, cadmium, contamination, Kissir, water towers, tap houses.</p>	
<p align="center">ملخص</p> <p>بغرض تقييم محتويات الكاديوم في مياه الشرب لمدينة جيجل ومعرفة الظروف والمصادر المحتملة لتلوث هذه المياه بهذا المعدن , تم تحليل 12 عينة من خزانات الماء و 12 عينة من مياه الحنفيات و عينة من محطة الضخ لسد كيسير وهذا وفقا لمخطط توزيع مياه الشرب لمدينة جيجل. اظهرت نتائج التحاليل مستويات عالية جدا من الكاديوم التي تتجاوز كثيرا معايير المنظمة العالمية للصحة والمعايير الجزائرية. الاسباب المحتملة لهذا التجاوز قد تكون من اصل جيولوجي بسبب تآكل الصخرة الام ومن اصل صناعي عن طريق انابيب نقل المياه من سد كيسير وصولا الى حنفيات المنازل. وهذا يمكن ان يكون خطرا حقيقيا على صحة المستهلك ويتطلب البحث عن سبل مكافحتها.</p> <p>الكلمات المفتاحية : مياه الشرب, الكاديوم, التلوث, كيسير, خزانات الماء, حنفيات المنازل.</p>	