

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAÏD
FACULTE DE MEDECINE
DR. B. BENZERDJEB - TLEMCCEN



وزارة التعليم العالي
والبحث العلمي
جامعة أبو بكر بلقايد
كلية الطب
د. ب. بن زرجب - تلمسان

DEPARTEMENT DE PHARMACIE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR
L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTEUR EN PHARMACIE

THÈME :

**Analyse des métaux lourds dans les eaux souterraines dans la région de
Tlemcen**

Présenté par :

ZERROUKI Mohammed El Mahdi

BOUSAID Salima

Soutenu le 28 octobre 2020

Le Jury

Président : Professeur Y. HAREK

Professeur en chimie analytique

Membres :

Dr K. BENCHACHOU

Maitre Assistante en hydro bromatologie

Dr A. BENAOUA

Maitre Assistante en toxicologie

Encadreur Dr S. BENAMARRA

Maitre-Assistant en hydro bromatologie

ANNÉE ACADEMIQUE: 2019-2020

Remerciements

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

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement du Docteur BENAMARA . S, maitre-assistant en hydro-bromatologie. Qui a très volontier accepté d'être le promoteur de ce mémoire, malgré ces nombreuses occupations, nous vous remercions pour tous vos efforts déployés pour nous fournir les ressources documentaires dont nous avons eu besoin et aussi votre disponibilité et vos encouragements permanents.

Qu'il trouve ici l'assurance de notre sincère reconnaissance et de notre profonde admiration pour son dévouement au travail, sa disponibilité et sa patience, qualités qui nous ont profondément marqué.

Nos remerciements et notre profonde gratitude s'adressent au professeur HAREK .M, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire ; nous avons eu l'honneur d'être parmi vos étudiants et de bénéficier de votre riche enseignement ainsi de nous avoir fait l'honneur de présider le jury

Nos remerciements vont également à tous les membres du jury qui ont bien voulu consacrer leur temps précieux pour l'examination de ce mémoire :

Nous tenons à remercier le docteur BENCHACHOU Khadidja pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Nos remerciements s'adressent également à docteur BENAONDA Amina, pour avoir d'examiner notre travail.

Un remerciement très spécial et chaleureux s'adresse au du professeur Kara, docteur BENABED, professeur BENSAYD, docteur SEDJELMASSY.

Nos remerciements s'adressent aussi au docteur BENDMERAD ainsi que toutes l'équipe de la pharmacie centrale au CHU-TLEMCEM.

Nous ne terminons pas sans avoir exprimé des remerciements envers toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Veillez trouver ici l'expression de notre profonde et sincère gratitude

Dédicaces

Je dédie avec profonde gratitude ce modeste travail :

A la mémoire de mama « ZEMZEM » que dieu t'accueille dans son vaste paradis. Maman, symbole de dévouement de patience et d'amour. Je pourrais passer toute ma vie à chercher les mots qui conviennent mais qui ne sauraient exprimer mon amour et ma profonde gratitude que je te témoigne pour tous les sacrifices que tu n'as jamais cessé de consentir pour mon instruction ainsi que pour mon bien être. A travers toi, j'ai appris à donner sans attendre la récompense, d'aimer sans conditions, de respecter tout le monde malgré nos différences, d'être ambitieuse tenace et appliquée. Tu es ma source de motivation et le moteur de mes ambitions, ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien aussi bien mes études que les traits de ma personnalité.

Tous ce que je souhaite que ta fierté de moi soit mérité. Ce titre de Docteur en pharmacie, je te le dédie tout particulièrement, je t'aimerais trop jusqu'au dernier jour de ma vie. Qu'on se rencontre au paradis ma reine

A mon très cher papa

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices consentis pour mon instruction et mon bien être. Tu as été pour moi durant toute ma vie le père exemplaire, l'ami et le conseiller. Tes prières ont été pour moi d'un grand soutien au cours de ce long parcours. Que dieu, tout puissant, te garde, te procure santé, bonheur et longue vie pour que tu demeures le flambeau illuminant mon chemin.

A mes frères SAMIA, Ikram, Adel

Vous avez été la lumière qui a illuminé mon chemin, votre soutien sur tous les plans et vos efforts sont la raison pour laquelle j'ai réussi à atteindre la ligne d'arrivée. J'espère qu'un jour je réussirai à vous rendre une partie de ce que vous avez fait pour moi. je vous aime

Mes loulous d'amour AICHA et Mohammed el Mehdi

A mon fiancé

Tous simplement ce que je dirais n'aurait aucune description de ce qu'il y a dans mon cœur. Notre rencontre est la plus belle chose qui me soit arrivée dans ma vie. A toi mon idole, mon soutien moral et ma source de joie et de bonheur, merci de ton encouragement et l'aide que tu m'as toujours accordé.

A ma tante Zahia et ma deuxième famille Zerrouki

Adnane, Farah, Housseem

Un petit mot pour vous dire que je vous aime énormément. Vous tenez beaucoup de place dans ma vie et surtout dans mon cœur. Je ne peux exprimer à travers ses lignes tous mes sentiments d'amour et de tendresse envers vous. Je te dis tout simplement je t'aime tata, et puisse Dieu te protéger, te procurer santé bonheur et longue vie.

*A mes très chères Mounia, jojo la reine, soumia, Hanane, djihane, Sanaa, Nadia, Tema,
Meriem, Sarra, Amina, fati et Khadîdja*

Vous avez vécu avec moi ce parcours avec tous ses détails, vous avez été les plus proches et vous ne m'avez jamais laissé tomber, on a tout partagé et vous avez été là avec moi pour le meilleur et pour le pire. J'espère que le futur renforcera notre union encore plus.

A mes collègues

IMAD, MOHAMMED, ABOU BEKER, ACHOUR, ISSLAM promotion 2014,

A toute la famille **BOUSAID** et **ZERROUKI** ainsi que tous mes amis, je suis très reconnaissante de vous avoir dans ma vie, veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon amour le plus sincère.

A tous les cancéreux, je vous dédie mon modeste travail.

-BOUSAIDSalima-

Dédicace

-ZERROUKI Mohammed El Mehdi-

Table des Matières

REMERCIEMENTS	I
DEDICACES	II
TABLE DES MATIERES	V
LISTE DES FIGURES	VIII
LISTE DES TABLEAUX	X
LISTE DES ABREVIATIONS	XI
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : GENERALITES SUR L’EAU DANS LA NATURE	3
1. CYCLE DE L’EAU	4
1.1. L’évaporation :	4
1.2. Condensation :	4
1.3. Précipitations.....	5
1.4. Ruissellement.....	5
1.5. Percolation	5
1.6. Résurgence.....	5
2. APPROVISIONNEMENT EN EAU :.....	5
2.1. Eau souterraine :.....	7
2.2. Importance des eaux souterraines :.....	8
2.3. Caractéristiques générales des eaux souterraines :	9
2.4. Potabilité des eaux souterraines :.....	10
3. LES EAUX DE SURFACE :	11
3.1. Caractéristiques générales des eaux de surface :	11
3.2. Potabilité des eaux de surface :	11
4. EAUX DE MER :	12
4.1. Eau de rivière et l’eau de lacs :	12
4.2. La qualité des eaux brutes :.....	12
5. EAU DESTINEE A LA CONSOMMATION HUMAINE :	13
5.1. Eau de robinet :	13
5.1.1. Définition :	13
5.1.2. Désinfection :	14
5.1.3. La clarification :	14
5.1.4. Décantation-flottation :.....	14
5.2. Eaux de source :.....	15
5.2.1. Définition :	15
5.2.2. Les types d’eau de source :.....	16
5.3. Eau minérale naturelle :	18
5.3.1. Définition :	18
5.3.2. Les caractéristiques des eaux minérales naturelles :	19
5.3.3. Les types d’eaux minérale naturelle :.....	19
5.3.4. Règlementation des EMN :	20
5.3.5. Différence entre l’eau de source et l’eau minérale naturelle :(27).....	22

Table des Matières

6. DISTRIBUTION DE L'EAU DANS LE CORPS HUMAIN :	22
6.1. Aspect réglementaire :	23
CHAPITRE II : LA POLLUTION	25
1. INTRODUCTION.....	26
2. SOURCE DE POLLUTION :	27
3. LES DIFFERENTS TYPES DE POLLUANTS :	27
4. DEFENSE NATURELLE CONTRE LA POLLUTION :	29
5. L'IMPACT SUR LA SANTE ET L'ENVIRONNEMENT :	30
6. ASPECT LEGISLATIF DE LA PROTECTION DES EAUX SOUTERRAINES EN ALGERIE :	31
6.1. Le Concept de base de protection des eaux souterraines en Algérie:	31
6.2. Synthèse des textes législatifs concernant la protection des ressources en eaux Souterraines en Algérie :	32
CHAPITRE III : LES METAUX LOURDS	34
1. DEFINITION DES ELEMENTS TRACES METALLIQUES :	35
2. LES METAUX LOURDS DANS L'ENVIRONNEMENT :	35
3. TOXICITE DES METAUX LOURDS :	35
4. LES PRINCIPAUX ELEMENTS TRACES METALLIQUES :	36
4.1. Le plomb :	36
4.2. Le cadmium :	39
4.3. Le zinc :	42
4.4. Le cuivre :	45
PARTIE PRATIQUE	51
MATERIELS ET METHODES	52
1. PROBLEMATIQUE :	53
2. OBJECTIFS DE L'ETUDE :	53
2.1. Objectif principal :	53
2.2. Objectif secondaire :	53
3. BUT :	53
4. PARTIE ANALYSE :	54
4.1. Type, lieu et calendrier de l'étude :	54
4.2. Echantillon d'étude :	54
4.3. Echantillonnage :	54
5. PARAMETRES ETUDIES :	59
5.1. Paramètres physiques :	59
5.1.1. Mesure du pH :	59
5.1.2. Mesure de la conductivité :	60
6. ENQUETE SUR LA CONSOMMATION D'EAU DE SOURCE DANS LA WILAYA DE TLEMCEM :	65
6.1. saisie et analyse des données :	66
RESULTATS	67
1. CRITERES DE JUGEMENTS :	68
1.1. Résultats de pH :	68
1.2. Résultats de conductivité :	69

Table des Matières

1.3. Les concentrations des éléments en traces métalliques (ETM) des sources d'eaux analysées :	69
2. PARTIE II : ENQUETE SUR LA CONSOMMATION D'EAU DE SOURCE DANS LA WILAYA DE TLEMCCEN.....	70
2.1. Description de la population d'étude :	70
2.1.1. Le sexe :	70
2.1.2. Les tranches d'âge :.....	71
2.1.3. Niveau d'instruction :.....	71
2.1.4. Le niveau économique :	72
2.1.5. Zone d'habitat :	72
2.1.6. Type d'eau consommé :	73
2.1.7. L'eau de source la plus consommée :.....	73
2.1.8. les raisons d'utilisation des eaux de sources :	75
2.1.9. La consommation journalière :.....	77
2.1.10. Récipient de conservation de l'eau :.....	78
2.1.11. L'utilisation de l'eau de source :	78
2.1.12. la période de consommation :.....	79
2.1.13. L'application d'un prétraitement :.....	79
2.1.14. Le type de prétraitement appliqué :	80
2.1.15. La notion d'hygiène :.....	80
DISCUSSION	81
1. LES LIMITES D'ETUDE :.....	82
CONCLUSION.....	86
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	88

Liste des Figures

FIGURE 1 : CYCLE HYDROLOGIQUE DE L'EAU	4
FIGURE 2: REPARTITION DE L'EAU SUR TERRE(11).....	6
FIGURE 3 : DISPONIBILITE EN EAU DOUCE ET STRESS HYDRIQUE(15)	7
FIGURE 4 : SCHEMA D'UNE NAPPE PHREATIQUE(17).....	7
FIGURE 5 : SCHEMA EXPLIQUANT LA DIFFERENCE ENTRE UNE NAPPE PHREATIQUE ET UNE NAPPE CAPTIVE(18).....	8
FIGURE 6 : SCHEMA D'UNE NAPPE ARTESIENNE (19)	8
FIGURE 7 : TABLEAU PERIODIQUE.....	35
FIGURE 8 : CELLULE POLAROGRAPHIQUE.....	49
FIGURE 9: LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES SOURCES ANALYSEES DE LA WILAYA DE TLEMCCEN	55
FIGURE 10 : SOURCE AIN EL HOUT	55
FIGURE 11 : SOURCE AIN MAZOUTA.....	55
FIGURE 12 : SOURCE AIN EL HDJER	56
FIGURE 13 : SOURCE AIN EL HDJER	56
FIGURE 14 : SOURCE BENIBOUBLENE	56
FIGURE 15 : SOURCE AIN EL HOUT	56
FIGURE 16: FLACONS EN VERRE BOROSILICATE CAPACITE 100ML ET 250ML.....	57
FIGURE 17 : SOLUTION MERE (70%) ET FILLE (10%) DE L'ACIDE NITRIQUE	57
FIGURE 18 :THERMOMETRE A MERCURE.....	58
FIGURE 19 : PAPIER PH.....	59
FIGURE 20 : PH-METRE.....	60
FIGURE 21: CONDUCTIMETRE.....	61
FIGURE 22 :SOLUTION TAMPON D'ACETATE D'AMMONIUM	61
FIGURE 23 :SOLUTIONS ETALONS DES QUATRE ELEMENTS.....	62
FIGURE 24 :APPAREIL ULTRASONS.....	62
FIGURE 25 :CELLULE POLAROGRAPHIQUE	63
FIGURE 26 :QUESTIONNAIRE.....	66
FIGURE 27 :LOGICIELS D'INFORMATIQUE	66
FIGURE 28: VALEURS DE LA CONDUCTIVITE DES SOURCES ANALYSEES.....	69
FIGURE 29: REPARTITION DE LA POPULATION SELON LE SEXE.	70
FIGURE 30 : REPARTITION DE LA POPULATION SELON LES CATEGORIES D'AGE.....	71
FIGURE 31: REPARTITION DE LA POPULATION SELON LE NIVEAU D'INSTRUCTION	71
FIGURE 32: REPARTITION DE LA POPULATION SELON LE NIVEAU ECONOMIQUE.....	72
FIGURE 33: REPARTITION DE LA POPULATION SELON LA ZONE D'HABITAT	72
FIGURE 34 : REPARTITION DE LA POPULATION SELON LE TYPE D'EAU CONSOMME	73
FIGURE 35 :REPARTITION SELON LA GRATUITE.....	75
FIGURE 36 :REPARTITION SELON LA FACILITE.....	76
FIGURE 37 :REPARTITION SELON LE VERTUS THERAPEUTIQUE.....	76
FIGURE 38 : REPARTITION SELON L'INDISPONIBILITE DES AUTRES SOURCES	77
FIGURE 39 :LA CONSOMMATION JOURNALIERE DES EAUX SOUTERRAINES	77
FIGURE 40 : REPARTITION DE LA POPULATION SELON LA NATURE DES RECIPIENTS UTILISES POUR LA CONSERVATION DE L'EAU.....	78
FIGURE 41 : REPARTITION DE LA POPULATION SELON L'UTILISATION DE L'EAU DE SOURCE.....	78

Table des Matières

FIGURE 42: REPARTITION DE LA POPULATION SELON LA PERIODE DE CONSOMMATION	79
FIGURE 43: REPARTITION DE LA POPULATION SELON L'APPLICATION DE PRETRAITEMENT.....	79
FIGURE 44 : REPARTITION DE LA POPULATION SELON LE TYPE DE PRETRAITEMENT	80
FIGURE 45 : REPARTITION DE LA POPULATION SELON LA NOTION D'HYGIENE.....	80

Liste des Tableaux

TABLEAU I : PRINCIPALES DIFFERENCES ENTRE EAUX DE SURFACE ET EAUX SOUTERRAINES (10)9	
TABLEAU II: LES CARACTERISTIQUES DE QUALITES DES EAUX DE SOURCES	18
TABLEAU III: CARACTERISTIQUES DE QUALITE DES EMN	21
TABLEAU IV: DIFFERENCE ENTRE L'EAU DE SOURCE ET EMN	22
TABLEAU V : SOURCE DE POLLUTION HYDRIQUE (35) (31)(36) (34).....	27
TABLEAU VI : DIFFERENTS TYPES DE POLLUANTS	29
TABLEAU VII : NORMES DES ELEMENTS TRACES METALLIQUES CITES : (46).....	47
TABLEAU VIII : VALEURS DU PH MESUREES DANS LABORATOIRE	68
TABLEAU IX :LES RESULTATS DES QUATRE ELEMENTS METALLIQUES	69

Liste des Abréviations

ETM :Elément Traces Métalliques

CO₂ :Dioxyde De Carbone

MES :Matières En Suspension

UV :Ultra-Violet

OMS :Organisation Mondiale De La Santé

FAO :Organisation des Nations Unies pour L'alimentation et L'agriculture

Pb :Plomb

Hg : Mercure

Cd : Cadmium

Fe : Fer

Zn : Zinc

Cu : Cuivre

THM : Tri-Halo-Méthanes

EDCH : Eau destinée à la consommation humaine

CaCO₃ : Carbonates de calcium

TH : Titre Hydrotimétrique

EMN : Eau Minérale Naturelle

ES :Eau De Source

ICP :Spectrométrie à Plasma à Couplage Inductif

Mg : Magnésium

K : Potassium

Mn : Manganèse

NO₃ : Nitrates

NH₄ :Ammonium

pH:potentielHydrogène

JORADP : Le Journal officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire.

CIRC :Centre International de Recherche sur le Cancer.

PVC :Polychlorure de Vinyle

Ca :Calcium

DBO :Demande Biochimique en Oxygène

DCO :Demande Chimique en Oxygène.

H₂S :Sulfure D'hydrogène.

Introduction générale

Introduction generale

Pour l'homme, l'eau a toujours été le symbole de la vie, de la purification et de la résurrection. Dans les archétypes qui imprègnent notre inconscient. L'eau a cette image de fraîcheur et régénération qui lave tout ce qui a été souillé et fait surgir la vie.(1)

L'eau est considérée comme un besoin vital, une source de plaisir, et d'appréhension (Pollution, Catastrophe Naturelle...). Il est essentiel donc pour la population d'obtenir une eau salubre, en quantité et en qualité afin de subvenir aux différents besoins et tâches.(2)

L'eau est un élément constitutif. Elle est présente dans toutes les cellules, tous les tissus et les compartiments elle sert à transporter les éléments nutritifs et à maintenir le sensible équilibre électrolytique à l'intérieur des cellules. Cette fonction basale explique les besoins d'une eau potable car une simple contamination peut nuire la santé publique.(3)(4)

L'eau pure n'existe pas à l'état naturel. Durant son acheminement vers la consommation, elle se charge d'éléments à la fois indispensables et autres substances potentiellement toxiques pour l'organisme. plusieurs types d'études est centre sur l'eau allant du son cycle hydrologique jusqu'à la gestion des ressources et ses risques (inondations, sécheresse, pollution...).(5) Elle doit respecter des normes nationaux et internationaux pour permettre à chacun de boire une eau sans aucun risque pour la santé.(6)

L'altération de l'environnement naturel, en particulier de l'aquifère, est devenue progressivement une préoccupation mondiale. La qualité naturelle des eaux souterraines peut être altérée par l'activité humaine. La détérioration de la qualité de l'eau est évaluée en mesurant des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Dans le cas d'une détérioration jugée importante, l'eau ne sera plus considérée comme propre à la consommation humaine, de sorte que même les eaux souterraines ne sont pas à l'abri de la pollution et que l'autoépuration naturelle n'est pas complète dans toutes les nappes.¹

Le mécanisme de pollution des eaux souterraines est un processus évolutif dans le temps et l'espace. Différentes substances polluantes entraînent de plus en plus de désastres environnementaux avec dégradation de la qualité des ressources disponibles et exploitables notamment les métaux lourds en raison de leur forte toxicité, même à de faibles concentrations.(7)

¹<https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge/du-8.htm>_Université de Picardie Jules Verne /Jacques Beauchamp

Introduction generale

À partir de ce que nous venons de développer, se pose la question de savoir si les eaux souterraines sont affectées par une contamination de la surface et respectent les normes nationales de potabilité en visant les teneurs des éléments traces métalliques (ETM).

Notre étude consiste à apprécier la qualité des eaux souterraines de certaines sources de la wilaya de Tlemcen qui sont exploitées par la population en déterminant la concentration de certains éléments traces métalliques (plomb, cadmium, zinc, et le cuivre) par la technique de polarographie.

Chapitre I : **Généralités sur l'eau dans la nature**

1. Cycle de l'eau

Le cycle hydrologique terrestre de l'eau est un mouvement continu et très complexe, constitué de plusieurs événements successifs et plusieurs mécanismes (Pompage, Distillation, Transport).

Ce cycle est constitué de 6 étapes : l'évaporation, condensation, précipitation, ruissellement, percolation, résurgence, évaporation.

En réalité ce cycle n'a ni commencement, ni fin, puisque plusieurs cycles s'imbriquent entre eux pour donner un cycle très complexe

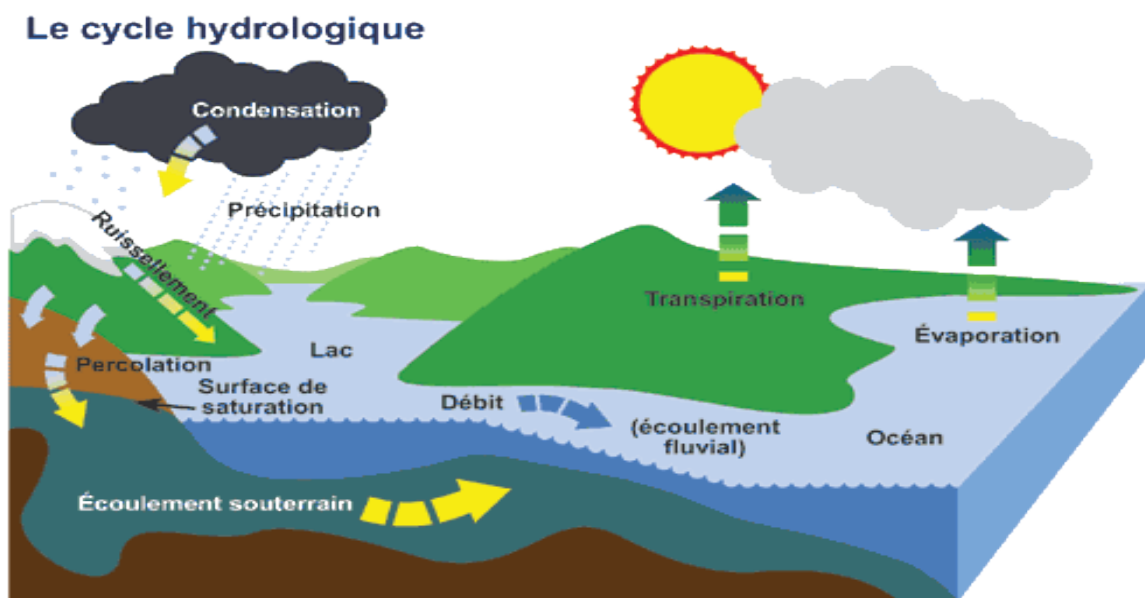


Figure 1 : cycle hydrologique de l'eau

1.1. L'évaporation :

Lorsque l'eau est chauffée par le soleil, les molécules en surface deviennent suffisamment énergisées pour se libérer de la force d'attraction qui les lie, puis s'évaporent et s'élèvent sous forme de vapeur invisible dans l'atmosphère.

La vapeur d'eau est également émise par les feuilles de plantes par un processus appelé transpiration. Chaque jour, une plante en pleine croissance transpire 5 à 10 fois plus d'eau qu'elle ne peut en contenir en une fois.

1.2. Condensation :

Lorsque la vapeur d'eau monte, elle se refroidit et finit par se condenser, généralement sous forme de minuscules particules dans l'air. Lorsque ces particules se condensent, elles

redeviennent liquides ou se transforme directement en solide (glace, grêle ou neige). Ces particules d'eau s'accumulent et forment des nuages.

1.3. Précipitations

Les précipitations sous forme de pluie, de neige et de grêle proviennent des nuages. Les nuages se déplacent autour du monde, propulsés par les courants d'air. Par exemple, lorsqu'elles s'élèvent au-dessus des chaînes de montagnes, elles se refroidissent et

Deviennent si saturées d'eau que l'eau commence à tomber sous forme de pluie, de neige ou de grêle, selon la température de l'air ambiant.

1.4. Ruissellement

Des pluies excessives ou la fonte des neiges peuvent produire un écoulement terrestre vers les ruisseaux et les fossés. Le ruissellement est l'écoulement visible de l'eau dans les rivières, les ruisseaux et les lacs à mesure que l'eau stockée dans le bassin s'écoule.

1.5. Percolation

Une partie des précipitations et de la fonte des neiges se déplace vers le bas, s'infiltrer à travers les fissures, les joints et les pores du sol et des roches jusqu'à atteindre la nappe phréatique où elles deviennent des eaux souterraines.(8)

1.6. Résurgence

L'eau souterraine est retenue dans les fissures et les pores. Selon la géologie, l'eau souterraine peut s'écouler pour soutenir les cours d'eau. Il peut également être capté par des puits. Certaines eaux souterraines sont très anciennes et peuvent être là depuis des milliers d'années.(9)

2. Approvisionnement en eau :

L'eau est la substance minérale la plus répandue à la surface du globe. Elle en constitue l'hydrosphère. Son volume est estimé à $1385 \cdot 10^6$ dont environ 97,4% dans les océans (couvrant 71% de la surface terrestre) 2 % sous forme de glace et 0.6 % seulement (de l'ordre de $8 \cdot 10^6 \text{ km}^3$) constituant les eaux douces continentales (y compris les nappes souterraines et l'humidité des sols)(10)

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surface stagnantes (lacs, retenus de barrages) ou en écoulement (rivières, fleuves) et des eaux de mer (10)

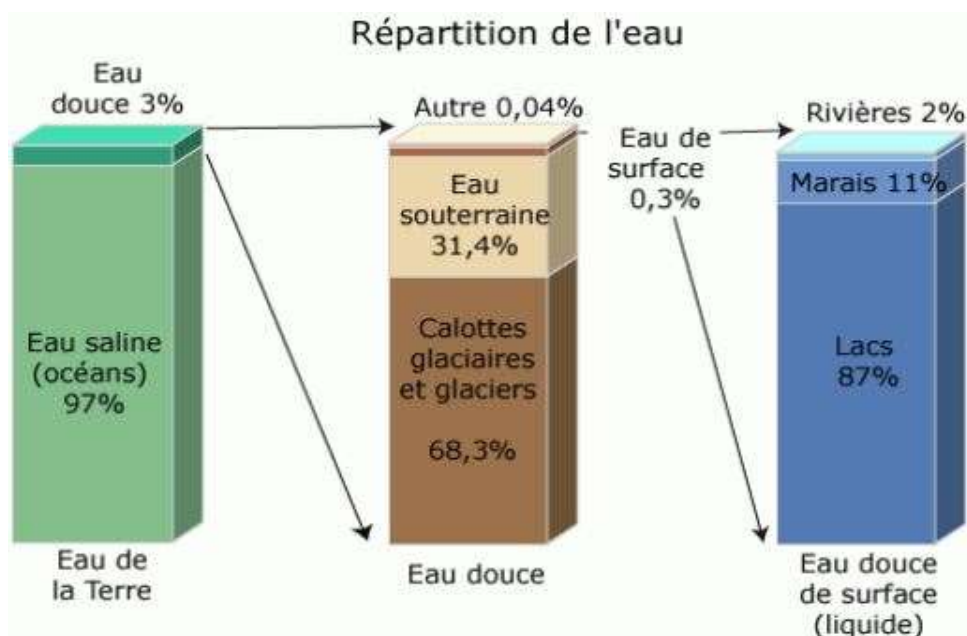


Figure 2: répartition de l'eau sur terre(11)

Les ressources en eau sont réparties de façon inégale dans le monde. Elles varient selon plusieurs facteurs, principalement le climat, et donc du niveau de précipitations de chaque pays qui peut fluctuer de moins de 10 000 m³ à 10 000 000 m³ par km² par an.

D'autre part, la richesse du pays renforce ces inégalités. 9 pays (Brésil, Russie, Indonésie, Chine, Canada, États-Unis, Colombie, Pérou et Inde) se partagent près de 60 % des ressources naturelles renouvelables d'eau douce du monde.

À l'inverse, 1,1 milliard de personnes réparties dans 80 pays, n'ont pas accès à une eau salubre. Pour certains (Malte, Libye, Singapour, Jordanie...), l'ordre de grandeur se chiffre uniquement en millions de m³ par an.(12)

La pluviométrie dans les pays du Maghreb est irrégulière et variable dans le temps et l'espace. En effet, les ressources en eau du Maghreb sont souvent surexploitées et/ou souillées à cause de la croissance démographique, de l'amélioration du niveau de vie, du développement du tourisme, de l'industrie et de l'irrigation.(13)

L'Algérie, la Libye, le Maroc, la Mauritanie et la Tunisie comptent parmi les pays les plus pauvres, du point de vue de la disponibilité en eau par habitant. Tous les pays du Maghreb sont en dessous à du seuil de pénurie en eau, qui se situe entre 1500 et 1700 m³/habitant/an. l'Algérie et la Lybie sont en dessous des 500 m³/habitant/an, seuil considéré

comme un indicateur de pénurie en eau sévère. Cette situation risque de s'aggraver dans le futur surtout si la tendance de la croissance démographique persiste.(13)(14)

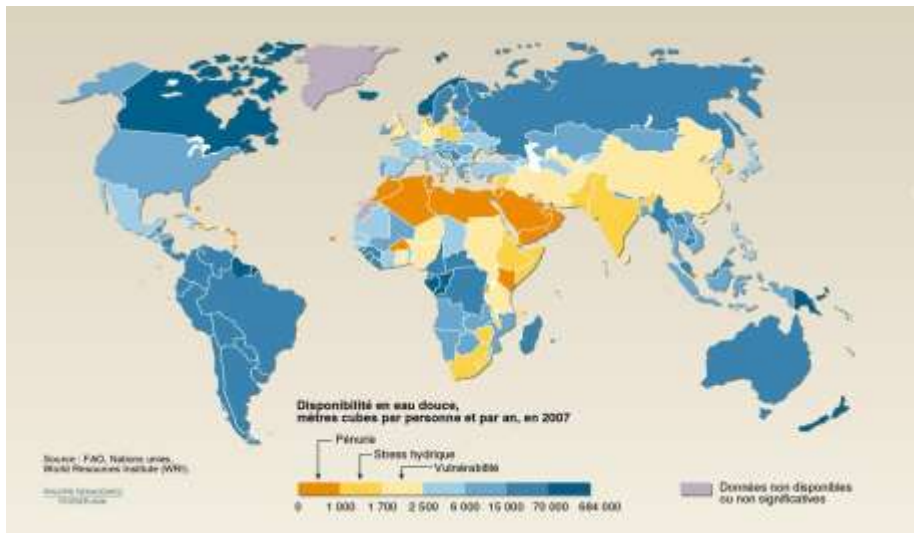


Figure 3 : Disponibilité en eau douce et stress hydrique(15)

La classification des eaux brutes est basée sur :(16)

- L'origine de la ressource.
 - Ses qualités.
- a) Concernant l'origine de la ressource, on distingue :

2.1. Eau souterraine :

Les nappes sont contenues dans des terrains réservoirs appelés aquifères, la porosité et la structure de terrain détermine le type de nappe et le mode de circulation souterraine.

- Une nappe est dite libre ou phréatique si elle est suffisamment proche de la surface, elle est alors alimentée directement par l'infiltration par les eaux de puits le niveau de cette nappe fluctue en fonction de la quantité de l'eau retenue. (16)

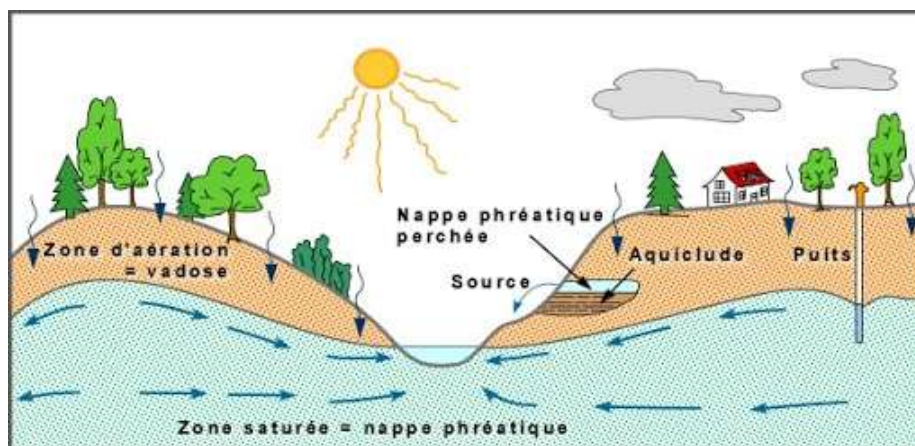


Figure 4 :Schéma d'une nappe phréatique(17)

- Une nappe est dite captive si elle est emprisonnée entre deux couches de terrains imperméables, les nappes de ce type sont les plus fréquentes, et généralement les plus profondes. (16)

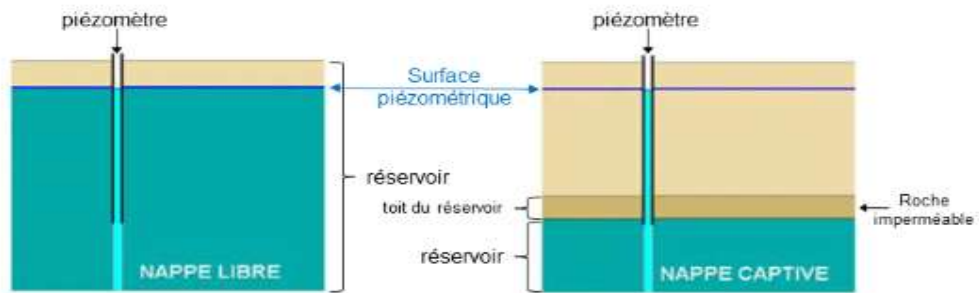


Figure 5 : Schéma expliquant la différence entre une nappe phréatique et une nappe captive(18)

- Une nappe peut être artésienne quand le niveau piézométrique se situe au-dessus de la surface du sol.

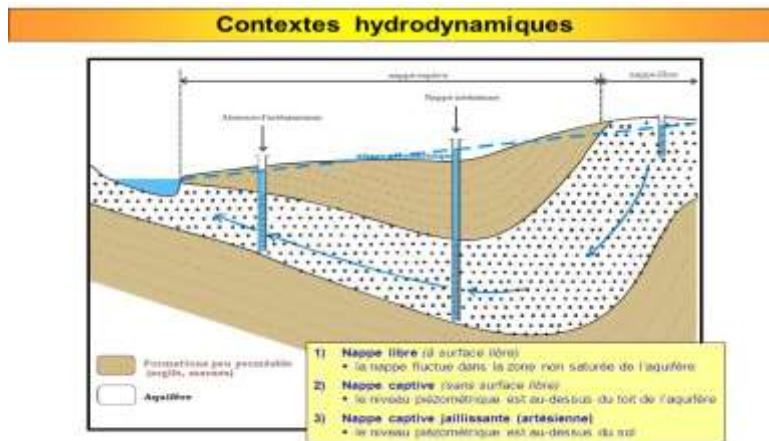


Figure 6 : Schéma d'une nappe artésienne (19)

L'eau peut soit imprégner la totalité de la couche géologique considéré: c'est le cas des terrains poreux tels que sable, grains, alluvions, soit s'établir seulement dans des fissures ou fractures de roches compactes: c'est le cas des roches éruptives ou métamorphiques et des terrains calcaires, dans ces derniers les fissures originales ont été progressivement élargies par dissolution dans l'eau chargée de gaz carbonique qui y circule, on aboutit à des cavernes importantes avec (20)souterrains, c'est la structure karstique.(10)

2.2. Importance des eaux souterraines :

Les eaux souterraines représentent environ 30% de l'eau douce du monde. Des 70% restants, près de 69% est capturé dans les calottes glaciaires et montagnes (neige, glaciers) et

seulement 1% se trouve dans les rivières et les lacs. Les eaux souterraines représentent en moyenne un tiers de l'eau douce consommée par les humains, mais dans certaines régions du monde, ce pourcentage peut atteindre jusqu'à 100% (20)

2.3. Caractéristiques générales des eaux souterraines :

La composition chimique de l'eau retenue est influencée par la nature géologique du terrain. Les eaux circulantes dans un sous-sol sablonneux ou granitique sont acides et peu minéralisée ; les eaux circulantes dans des sols calcaires sont bicarbonatés calciques et présentent une dureté élevée.

Dans le cas des eaux karstiques on peut cependant relever des variations brutales de qualité ; avec l'apparition de turbidité et de pollutions diverses. Ces variations sont liées à pluviométrie et aux ruissellements entraînés sans réelle filtration dans le réseau souterrain.

Le tableau 1 présente les caractéristiques des eaux souterraines selon les principaux paramètres analytiques, notamment une bonne pureté bactériologique, une faible turbidité (parce qu'elles ont été filtré dans le sol)(16), une température et une composition chimique constante, l'absence quasi totale d'oxygène entraînant la présence d'éléments réduits indésirables.(10)

Tableau I : principales différences entre eaux de surface et eaux souterraines (10)

Caractéristiques	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable suivant saisons	Relativement constante
Turbidité ; MES (Vraies ou colloïdales)	Variable parfois élevée	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
Couleur	Liée surtout aux MES (argiles, algues) sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides humiques) ou due une précipitation Fe-Mn
Gouts et odeurs	Fréquents	Rares (sauf H2S)
Minéralisation globale (où : salinité, TDS...)	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

Fe et Mn divalent (à l'état dissous)	Généralement absents ; sauf en profondeur des pièces d'eau en état d'eutrophisation	Généralement présent
CO2 agressif	Généralement absent	Souvent présent en grande quantité
O2 dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation : absent dans le cas d'eaux très pollués	Absent la plupart du temps
H2S	Généralement absent	Souvent présent
NH4	Présent seulement dans les eaux pollués	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
Silice	Teneur en général modérée	Teneur souvent élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Présent dans les eaux de pays industrialisés ; mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absent ; mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Solvants chlorés	Rarement présent	Peuvent être présents (pollution de la nappe)
Eléments vivants	Bactéries (dont certains pathogènes) , virus ,plancton (animal et végétal)	Ferrobactéries et sulforeductrices fréquents

2.4. Potabilité des eaux souterraines :

Les eaux souterraines ont longtemps été synonymes d'eau propre qui répond naturellement aux normes de potabilité. Cette eau est moins sensible aux pollutions accidentelles. De nombreux aquifères souterrains sont influencés par la qualité des eaux de surface. C'est déjà le cas. Il existe des réseaux karstiques mais aussi des aquifères alluviaux.

Lorsqu'un aquifère souterrain a été pollué, il est très difficile de retrouver sa pureté d'origine : les polluants qui ont contaminé l'aquifère se retrouvent non seulement dans l'eau mais même dans les roches et minéraux de sous-sol (phénomène d'absorption.)

La composition de la zone de stockage peut influencer la qualité des eaux souterraines par des éléments à des concentrations bien supérieures aux normes pour l'eau potable.

Les eaux souterraines doivent être traitées avant distribution lorsque la concentration d'un ou plusieurs de ces éléments dépasse la valeur autorisée par la réglementation en vigueur (11).

3. Les eaux de surface :

Ce terme comprend toute l'eau en circulation ou stockée à la surface des continents.

Elles proviennent soit d'aquifères souterrains dont l'émergence constitue une source, soit d'eaux de ruissellement.

Ces eaux se caractérisent par une surface de contact eau-atmosphère en mouvement permanent et une vitesse de circulation appréciable. Ils peuvent être stockés dans des réserves naturelles (lacs) ou des réservoirs artificiels (réservoirs) caractérisés par un échange eau de surface -atmosphère presque immobile. Une profondeur qui peut être significative et un temps de séjour important (17)

3.1. Caractéristiques générales des eaux de surface :

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature du terrain rencontré au cours de son parcours, au cours de son transport, l'eau dissout différents éléments constitutifs du terrain. En revanche, sa teneur en gaz dissous (oxygène, azote, dioxyde de carbone) dépend des échanges à l'interface de l'eau atmosphérique et de l'activité métabolique des organismes aquatiques dans l'eau.(17)

3.2. Potabilité des eaux de surface :

L'eau de surface est rarement potable sans traitement, elles sont contaminées par différents polluants :

- Origine urbaine : (rejets provenant de la collecte des URE ...)
- Origine industrielle : polluants et micropolluants organiques (hydrocarbures, solvants synthétiques, phénols) ou inorganiques (métaux lourds, ammoniac).

- Origine agricole : engrais et pesticides (herbicides, insecticides, fongicides), les matières premières riches en azote et en phosphore. -Pollution bactériologique d'origine humaine et animale.(17)

4. Eaux de mer :

En l'absence d'eau de surface ou profonde, il est parfois nécessaire de recourir à l'eau salée (15 000 mg / l de sels dissous) ou encore à l'eau de mer (25 000 mg / l et plus). Pour le dessalement de ces eaux, les deux techniques sont des techniques membranaires, soit par électro-dialyse, soit par osmose inverse, mais elles sont coûteuses et consommatrices d'énergie.(17)

La salinité observée dans les différents océans ou mers du globe est le résultat d'un équilibre entre l'évaporation, les précipitations et les apports fluviaux (faible salinité) d'une part, et l'échange d'eau avec les autres mers ou océans auxquels ils sont reliés , d'autre part (10)

4.1. Eau de rivière et l'eau de lacs :

La Direction de santé publique recommande aux riverains qui prennent leur eau directement dans les lacs de ne pas utiliser cette eau pour boire, ni pour laver, préparer ou cuire les aliments. La qualité de l'eau à chacune des prises d'eau résidentielles dans un lac n'étant pas connue, elle recommande de prévoir une autre source d'approvisionnement en eau de consommation. Pour utiliser cette eau, par prudence, il faudrait bien traiter avant de la consommer .(21)

4.2. La qualité des eaux brutes :

En application du droit communautaire, les eaux superficielles destinées à la production alimentaire doivent répondre à des exigences de qualité très précises et fixés par des organismes spécialisés.

Le système de classification actuel s'articule autour de deux éléments :

- Les paramètres de qualité auxquels doivent en tout état de cause répondre les eaux brutes ;
- Le procédé-type de traitement utilisé pour la potabilisation.
- Les eaux brutes sont classées en trois catégories, selon l'intensité du procédé :

- **A1** : Qualité bonne, traitement physique simple et désinfection
- **A2** : Qualité moyenne, traitement normal physique, chimique et désinfection
- **A3** : Qualité médiocre, traitement physique, chimique poussé, affinage et désinfection.(22)(16)

5. Eau destinée à la consommation humaine :

La définition de l'eau destinée à la consommation humaine est donnée par la directive 98/83 du 3 novembre 1998, traduite en droit français dans le code de la santé publique. La définition est la suivante :

« Toutes les eaux qui, soit en l'état, soit après traitement, sont destinées à la boisson, à la cuisson, à la préparation d'aliments ou à d'autres usages domestiques, qu'elles soient fournies par un réseau de distribution, à partir d'un camion-citerne ou d'un bateau citerne, en bouteilles ou en conteneurs, y compris les eaux de source ...)

« Toutes les eaux utilisées dans les entreprises alimentaires [...], qui peuvent affecter la salubrité de la denrée alimentaire finale, y compris la glace alimentaire d'origine hydrique »(23)

5.1. Eau de robinet :

5.1.1. Définition :

L'eau du robinet, l'un des éléments les plus surveillés, est un produit vivant, issu de l'eau brute, elle-même protégée et surveillée. Mais ce n'est qu'une matière première qui sera davantage élaborée, transformée, pour devenir conforme aux normes définies par les réglementations locales et / ou internationales. (22) Elle peut provenir des eaux souterraines ou de surface (rivières, lacs, ruisseaux).

Le traitement des eaux consiste à produire de l'eau potable à partir d'une eau plus ou moins polluée, de sorte que cette eau brute soit soumise à différentes étapes de traitement effectuées dans plusieurs unités de la station de traitement de l'eau.(24)

Comme les caractéristiques de l'eau brute sont extrêmement variées, le traitement sera également varié. Le chef de service dispose alors d'un certain nombre de procédés élémentaires pour constituer sa station d'épuration. Ceux-ci peuvent être classés selon les catégories suivantes :(16)

- A. Les procédés physiques :** Les prétraitements physiques tels que le dégrillage, tamisage, dessablage, Filtration, Décantation : et dégraissage Les ultraviolets permettent d'extraire de l'eau brute la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs(17) (23).
- B. Les procédés physico-chimiques Coagulation et floculation :** La turbidité et la couleur de l'eau sont principalement causées par de très petites particules appelées particules colloïdales Pour éliminer ces particules, le processus de floculation et de coagulation est utilisé (23).
- C. Les procédés chimiques :** contenant Les procédés oxydants, Les procédés de substitution d'ions et Les procédés de neutralisation ou d'acidification
- D. Les procédés biologiques :** Ces procédés reposent sur des cultures bactériennes qui, au contact de l'eau, éliminent certains polluants indésirables

5.1.2. Désinfection :

La désinfection est un traitement qui détruit ou élimine les micro-organismes qui peuvent transmettre des maladies en ajoutant une certaine quantité d'un produit chimique aux propriétés germicides à l'eau. La désinfection n'inclut pas nécessairement la stérilisation, qui est la destruction totale de tous les organismes vivants dans un environnement donné. Certains des produits chimiques les plus couramment utilisés comprennent : le chlore, le dioxyde de chlore, l'ozone, le brome, l'iode et le permanganate de potassium.

Les moyens physiques ont également cette propriété : l'ébullition ; rayons ultraviolets ou gamma (23)

5.1.3. La clarification :

La clarification reste une étape majeure pour les eaux de surface. Elle a pour principe l'élimination de la MES, dissoute et colloïdale et générer une eau limpide. Elle combine :

Coagulation-floculation : à l'aide d'un coagulant –floculant permettant l'agrégation du MES en flocons (16)

5.1.4. Décantation-flottation :

Selon la densité, les flocons formés se déposent au fond du décanteur ou remontent à la surface (17)

Filtration : permet la rétention des particules solides en suspension en faisant passer l'eau à travers un milieu poreux (filtre à sable, membrane ou charbon actif) (16)

En faire une eau potable commune si les questions des différents types de pollution admis dans la notion de "potabilité" n'ont pas été évoqués. Quelques avantages de l'eau du robinet :

Bien sûr, l'eau du robinet a mauvaise réputation. Mais avant d'entrer dans le vif du sujet, admettons quelques avantages à cette eau :

- Premièrement, elle est « potable », c'est-à-dire qu'il n'y a aucun risque d'infection (potentiellement mortelle) lorsque vous le buvez.
- Elle est disponible partout et nous l'avons presque sans restriction.
- Malgré son coût croissant, elle reste très bon marché, entre 100 et 600 fois moins chère que l'eau en bouteille.
- Elle obstrue moins le corps que l'eau minérale en bouteille car elle contient généralement moins de minéraux (24).
- C'est l'aliment le plus réglementé. Elle est donc plus contrôlée que l'eau minérale. Elle est soumise à des normes strictes fixant des seuils de minéralité pour que l'eau bénéficie d'un bon équilibre minéral et pour garantir sa qualité et ainsi éviter tout risque sanitaire à court ou long terme (22)

5.2. Eaux de source :

5.2.1. Définition :

Une eau d'origine exclusivement souterraine, apte à la consommation humaine microbiologiquement saine et protégée contre les risques de pollution.

L'eau de source est la plus proche de la définition de l'eau parfaite selon la bioélectronique de Vincent, dans tous les cas dans leurs versions naturelles, à la source. Dans la bouteille, les choses se compliquent et toutes les marques ne sont pas identiques.

À l'échelle mondiale, l'eau de source en bouteille est bien mieux notée que l'eau minérale en raison de la conjonction de plusieurs facteurs :

- Le pH est moins élevé et tend vers l'acidité plutôt que l'alcalinité.
- L'eau est légèrement réductrice.

- Elle doit selon la législation être conforme aux critères de potabilité.
- Elle est nettement moins chargée en minéraux, avec un taux de résidus à sec inférieur à 150 mg / litre

C'est une eau au goût « naturel » qui provient de sources de surface (non souterraines), idéalement de sols granitiques ou volcaniques. Elle peut généralement être bu au quotidien mais n'est pas forcément exempt de pollution, reste soumis au problème des bouteilles en plastique et devrait être revitalisé avant consommation (24).

5.2.2. Les types d'eau de source :

a) Eau de source :

L'eau de source est une eau introduite sur le lieu de son émergence, au fur et à mesure qu'elle sort du sol, sous réserve d'éventuels traitements autorisés conformément, dans des conteneurs pour la livraison au consommateur ou dans des conduites conduisant directement à ces conteneurs.

b) L'eau de source gazéifiée :

C'est l'eau de source qui, sous réserve de tout traitement autorisé conformément est rendue effervescente par addition de dioxyde de carbone. (25)

c) Caractéristiques de qualités des eaux de sources :

La concentration des substances énumérées ci-dessous ne doit dépasser les taux ci-après :(25)

CARACTERISTIQUES	UNITE	Concentrations
1 - Caractéristiques organoleptiques :		
Couleur	mg/l de platine (en référence à l'échelle platine/cobalt)	maximum 25
Odeur (seuil de perception à 25° C)	-----	au maximum 4
Saveur (seuil de perception à 25° C)	-----	au maximum 4
Turbidité	-----	au maximum 4
2. - Caractéristiques physico-chimiques liées à la structure naturelle de l'eau		
PH	Unité PH	6,5 à 8,5
Conductivité (à 20° C)	[is/ cm	au maximum 2.800
Dureté	mg/l de Ca CO ₃	100 à 500
Chlorures	mg/l (Cl)	200 à 500
Sulfates	mg/l (SO ₄)	200 à 400
Calcium	mg/l (Ca)	75 à 200
Magnésium	mg/l (Mg)	150
Sodium	mg/l (Na)	200
Potassium	mg/l (K)	20
Aluminium total Mg/l en	mg/l	0,2
Oxydabilité au permanganate de potassium	mg/l en oxygène	au maximum 3
Résidus secs après dessiccation à 180° C	mg/l	1.500 à 2.000
3. - Caractéristiques concernant les substances Indésirables		
Nitrates	mg/l de NO ₃	au maximum 50
Nitrites	mg/l de NO ₂	au maximum 0,1
Ammonium	mg/l de NH ₄	au maximum 0,5
Azote Kjeldahl	mg/l en N (1)	au maximum 1
Fluor	mg/l de F	0,2 à 2
Hydrogène sulfuré		Ne doit pas être décelable Organoleptiquement

Fer	mg/l (Fe)	au maximum 0,3
Manganèse	mg/l (Mn)	au maximum 0,5
Cuivre	mg/l (Cu)	au maximum 1,5
Zinc	mg/l (Zn)	au maximum 5
Argent	mg/l (Ag)	au maximum 0,05
4. - Caractéristiques concernant les substances Toxiques		
Arsenic	mg/l (As)	0,05
Cadmium	mg/l (Cd)	0,01
Cyanure	mg/l (Cn)	0,05
Chrome total	mg/l (Cr)	0,05
Mercure	mg/l (Hg)	0,001
Plomb	mg/l (Pb)	0,055
Sélénium	mg/l (Se)	0,01
Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) :		
* Pour le total des 6 substances suivantes	[g/l	: 0,2
Fluoranthène,		0.2
Benzo (3,4) fluoranthène		0.2
Benzo (11,12) fluoranthène		0.2
Benzo ((3,4) pyrène		0.2
Benzo (1,12) pérylène		0.2
Indeno (1,2,3 - cd) pyrène		0.2
* Benzo (3,4) pyrène	[g/l	0,01

Tableau II: les caractéristiques de qualités des eaux de sources (25)

5.3. Eau minérale naturelle :

5.3.1. Définition :

L'eau minérale naturelle est une eau qui provient exclusivement de sources souterraines, elle est microbiologiquement saine (25) collectée soit à partir d'une source, soit par forage. Défini comme tel par la réglementation, elle est utilisée pour la mise en bouteille et / ou les bains thermaux. Pure, géologiquement protégée et de composition minérale parfaitement stable, il n'est soumis à aucun traitement chimique ni désinfection avant mise en bouteille ou

utilisation thermique. Ces eaux appartiennent, par définition, à des aquifères à forte inertie, généralement profonds, carbogazeux dans certains cas. Ces aquifères sont bien protégés de la contamination de surface par leur couverture géologique et, si nécessaire, également par des politiques de protection dédiées. Ils sont généralement situés dans des régions peu soumises à une forte pression anthropique (agriculture intensive, industrie, urbanisation, etc.). Ils contribuent de manière significative au développement économique local. (26)

5.3.2. Les caractéristiques des eaux minérales naturelles :

L'eau minérale naturelle est une eau qui diffère considérablement de l'eau potable ordinaire du fait que :

- a) elle est caractérisée par sa teneur en certains sels minéraux, les proportions relatives de ces sels et la présence d'oligo-éléments ou d'autres constituants ;
- b) elle provient directement des nappes phréatiques souterraines par émergences naturelles ou forées pour lesquelles toutes les précautions doivent être prises pour éviter toute pollution ou influence externe sur les propriétés physiques et chimiques des eaux minérales naturelles ;
- c) sa composition est constante et son débit et sa température stables, compte dûment tenu des cycles de fluctuations naturelles mineures ;
- d) il est collecté dans des conditions garantissant la pureté microbiologique et la composition chimique de ses constituants essentiels ;
- e) il est emballé près de l'émergence de la source avec des précautions d'hygiène particulières ;
- f) il n'est soumis à aucun traitement autre que ceux autorisés par la présente norme. (28)

5.3.3. Les types d'eaux minérale naturelle :

1) Eau minérale naturelle non gazeuse :

L'eau minérale naturelle non gazeuse est une eau minérale naturelle qui, dans son état naturel et après tout traitement autorisé conformément et son emballage, ne contient pas de dioxyde de carbone libre dans une proportion supérieure à la quantité nécessaire pour maintenir dissous les sels de carbonate d'hydrogène présents dans l'eau.

2) Eau minérale naturelle naturellement gazeuse :

C'est une eau minérale naturelle dont la teneur en gaz est, après tout traitement autorisé conformément et emballage, la même qu'à l'émergence compte tenu des tolérances techniques usuelles.

3) Eau minérale naturelle dégazéifiée :

C'est une eau minérale naturelle dont la teneur en dioxyde de carbone, après tout traitement autorisé conformément et emballage, n'est pas la même qu'à l'émergence.

4) Eau minérale naturelle renforcée au gaz carbonique de la source :

L'eau minérale naturelle renforcée au gaz carbonique issue de la source est une eau minérale naturelle dont la teneur en gaz carbonique, après tout traitement autorisé conformément et emballage, n'est pas la même qu'à l'émergence et qui est soumise à l'ajout de gaz carbonique émanant de la source.

5) Eau minérale naturelle gazéifiée

L'eau minérale naturelle gazéifiée est une eau minérale naturelle rendue gazéifiée, après tout traitement autorisé conformément et emballage, par addition de dioxyde de carbone provenant d'autres sources.(25)

Remarque :

Une eau minérale naturelle ou une eau de source ne peut faire l'objet d'aucun traitement ou adjonction autre que :

- la séparation des éléments instables et la sédimentation des matières en suspension par décantation ou filtration,
- l'incorporation de gaz carbonique ou la dégazéification. (25)

5.3.4. Règlementation des eaux minérales naturelles :

En France, l'eau minérale naturelle est actuellement définie par une réglementation transposée dans le code de la santé publique et la réglementation européenne, et le décret de 2007 est complété par cinq décrets de 2007, 2010 et 2013 relatifs à la préparation des demandes de déclaration d'intérêt public, l'attribution d'un périmètre de protection, la préparation des demandes d'autorisation, les critères de qualité de l'eau, les analyses de contrôle sanitaire et de surveillance de l'eau, etc.

Dans le monde, certains pays n'ont pas de réglementation spécifique ; la définition des EMN est alors basée sur les normes du Codex Alimentarius (norme Codex 108-1981) ou "Code alimentaire". Le Codex Alimentarius a été créé par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'Organisation mondiale de la santé (OMS) en 1963 pour élaborer des normes alimentaires internationales harmonisées afin de protéger la santé des consommateurs et de promouvoir des pratiques loyales dans le commerce international des denrées alimentaires (27).

Dans l'eau minérale naturelle conditionnée, la concentration des substances indiquées ci-dessous ne doit pas dépasser les chiffres ci-après :(25)

Paramètre	Concentration
Antimoine	0.005 mg/l
Arsenic	0.01 mg/l, exprimé en As total
Baryum	0.7 mg/l
Borates	5 mg/l, exprimé en B
Cadmium	0,003 mg/l
Chrome	0,05 mg /l, exprimé en Cr total
Cuivre	1 mg/l
Cyanures	0.07 mg/l
Fluorure	5 mg /l , exprimé en F
Plomb	0,01 mg/l
Manganèse	0,4 mg/l
Mercure	0,001 mg/l
Nickel	0.02 mg/l
Nitrates	50 mg/l, exprimé en NO ₃
Nitrites	0 ,1 mg/l en tant que nitrite
Sélénium	0.01g/l

Tableau III: Caractéristiques de qualité des eaux minérales naturelles.(25)

5.3.5. Différence entre l'eau de source et l'eau minérale naturelle :(27)

	Eau de source	Eau minérale naturelle
Origine	Souterraine	Souterraine
Protection naturelle	Obligatoire	Obligatoire
Traitement chimique	Aucun traitement de désinfection	Aucun traitement de désinfection
Composition minérale	Connu faible variabilité dans le temps	Obligatoirement stable dans le temps
Effet reconnu sur la santé		Effet favorable à la santé reconnu par l'académie de médecine. Effet spécifique de certains EMN

Tableau IV: différence entre l'eau de source et EMN (27)

6. Repartition et importance de l'eau dans le corps humain :

L'eau est le principal constituant du corps humain. Le corps est incapable de produire une quantité suffisante d'eau par son métabolisme ni obtenir ce dernier à partir des aliments pour couvrir ses besoins quotidiens. Donc boire quotidiennement de l'eau reste la meilleure façon pour répondre à ces besoins. Si ces derniers ne sont pas satisfaits, des effets négatifs surviennent qui peuvent avoir de graves conséquences sur la santé.(4) Les différentes fonctions basiques de l'eau déterminent le besoin impératif de maintenir un 'état d'hydratation approprié.

a) Distribution de l'eau dans le corps

Environ 60 % du poids d'un adulte est représenté par de l'eau. Pour un adulte le compartiment intracellulaire renferme deux tiers de l'eau totale et un tiers dans le compartiment extracellulaire

Cela est dû aux concentrations des tissus en protéines, la masse grasse et tissus fibreux (exemple : Un homme de 70 kg a environ 42 l d'eau totale, 28 l d'eau intracellulaire et 14 l d'eau extracellulaire)(28)Chez les nourrissons et les enfants, le pourcentage d'eau corporelle est plus élevé que chez les adultes. (Inversement entre les compartiments en comparant avec l'adulte)

Chez les nourrissons et les enfants, le pourcentage d'eau corporelle est plus élevé que chez les adultes. (Inversement entre les compartiments en comparant avec l'adulte)

b) Balance hydrique

L'eau corporelle est relativement constante dans certaines conditions (climat et activité physique modéré (18-20 °C)). Cette notion résulte d'une régulation bien précise de l'équilibre hydrique. Au cours de 24 heures, les apports et les pertes d'eau doivent être égaux.

c) Importance de l'eau dans le corps humain :

- Élément constitutif : présent dans tous les organes, les tissus, les cellules
- Un solvant, un milieu de réactions, un réactif et un produit de réactions chimiques : l'eau a des propriétés uniques c'est un excellent solvant pour les ions et les solutés tel que le glucose et les acides aminés, possède des propriétés dans les réactions hydrolytiques et représente un produit de métabolisme oxydatif
- Un transporteur : au cours de l'homéostasie l'eau transporte les nutriments vers les cellules et emporte les déchets (produits de dégradation) donc les échanges cellulaires.
- Un lubrifiant et absorbeur de chocs : la salive, les fluides lubrifiant pour les articulations, les sécrétions gastriques et urinaires sont tous le résultat d'association des molécules visqueuses avec l'eau. Elle peut avoir la propriété absorbeur de chocs au cours de la marche, la course, donc rôle protecteur pour le cerveau et la moelle épinière.(4)

6.1. Aspect réglementaire :

La directive européenne 98/83 / CE adoptée fin 1998 fixe désormais les normes de « l'eau destinée à la consommation humaine » (EDCH), remplaçant ainsi administrativement la notion d'eau « potable », selon 3 exigences

- Ils ne doivent contenir ni nombre ni concentration de micro-organismes, de parasites ou de toute autre substance constituant un danger pour la santé humaine. Il ne doit y avoir aucune bactérie E. Coli ou entérocoques
- Ils doivent respecter les limites de qualité (valeurs obligatoires). Ainsi, le « total des pesticides » présents dans l'eau ne doit pas dépasser 0,50 µg / l (et non 0,10 µg / l comme

annoncé dans l'enquête de santé diffusée en janvier 2014), les nitrates ne peuvent dépasser 50 mg / l (contre 5 mg / l il y a cinquante ans et de nombreuses stations ne peuvent plus répondre à ces nouvelles limites), plomb 10 µg / l, etc.

- Ils doivent répondre à des références de qualité (valeurs indicatives de bonne qualité mais dont le non-respect ponctuel n'engendre pas de risque sanitaire) (24)

Chapitre II : La Pollution

1. Introduction

La pollution des eaux suscite une inquiétude croissante. Celle-ci est liée d'une part à la relative rareté de l'eau comme matière première indispensable à la boisson(29),La disponibilité de cette petite partie d'eau douce (dans les cours d'eau, les lacs et le sous-sol) est de plus en plus menacée par la déforestation, les changements climatiques, et la sur consommation accrue en raison de la croissance démographique et du développement de l'industrie.(14)

En outre, la qualité de cette eau est menacée par L'occupation anarchique de périmètres de protection par les populations. Celle-ci constitue un péril pour la qualité des eaux souterraines car les activités pratiquées sont sources de pollution potentielle(30)

La pollution a été définie comme suit :

« Un cours d'eau est considéré comme étant pollué lorsque la composition ou l'état des eaux sont directement ou indirectement modifiés du fait de l'activité 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. ». (31)

A l'échelle mondiale, La plus grande partie de la pollution des ressources en eau souterraine provient de l'évacuation des eaux usées (22).

L'inquiétude croissante de la pollution due à l'urbanisation et à l'agriculture intensive(14)et d'autre part aux progrès des connaissances scientifiques, qui conduisent à suspecter, outre les pathologies aiguës ou chroniques bien classiques liées à une transmission hydrique(29)

Selon l'OMS, Les maladies microbiennes d'origine hydrique constitue la grande majorité des problèmes sanitaires et fait jusqu'à 3,2 millions de morts par an, ce qui représente environ 6% des décès dans le monde.

2. Source de pollution :

Source de pollution de l'eau			
Selon l'origine de la pollution	Selon la nature de polluants	Selon la répartition géographique	Selon la répartition dans le temps
<p>Urbaine : Eaux usées domestiques, eaux pluviales.....</p> <p>Industrielle : Eaux usées, eaux d'infiltration sous dépôts industriels....</p> <p>Agricole : Eaux d'infiltration et de ruissellement dans les limites des périmètres irrigués, les sites d'élevages, de lisiers, d'épandages d'engrais et produits phytosanitaires, les pesticides</p>	<p>Physiques : Chaleur, matières en suspension, radioactivité....</p> <p>Chimiques : Sels minéraux, métaux lourds, pesticides, détergents, hydrocarbures....</p> <p>Microbiologique : Micro-organismes, virus, bactéries</p>	<p>Pollution diffuse : Ce type de pollution contamine l'air, le sol et l'eau sur de longues périodes. Il s'agit de petites doses répétées régulièrement et sur grandes surfaces</p> <p>Pollution ponctuelle : est la pollution qui provient d'un point unique et identifiable</p>	<p>Pollution permanente : (Chronique)</p> <p>Pollution accidentelle : elle est due à l'expansion de l'industrie, augmentation de l'intensité de l'urbanisation</p> <p>Pollution saisonnière : (sels de déneigement, etc....).</p>

Tableau V : source de pollution hydrique (35) (31)(36) (34)

3. Les différents types de polluants :

Le tableau VI illustre les différents types de polluants aquatiques qui peuvent être d'origine physiques chimiques ou microbiologiques.(32)

Source	Nature chimique	Type
Municipales	Fruits d'égouts : augmentation de DBO, DCO de nitrates, de produits chimiques organiques	Chimique
	Pertes d'eaux domestiques : Produits de traitement de l'eau (Produits chlorés et dérivés, THM ...ozone, aluminium, phosphates	Chimique (minérale)
	Déchets solides : DBO, la morue, le fer, le manganèse, le chlorure, le nitrate, la dureté et les éléments traces. La production de gaz, comme le méthane, le dioxyde de carbone, l'ammoniac et le sulfure d'hydrogène, sont d'autres sous-produits des décharges	Chimique
Industrielles	Déchets liquides : l'eau de refroidissement est adoucie avant son utilisation pour empêcher la formation de dépôts calcaires, ce qui produit des eaux usées salines et thermiques qui sont des polluants importants.	Physique
	Fuites dans les réservoirs et les canalisations	Chimique

	Activités minières : Métaux lourds (Pb, Hg, Cd...) et non lourds (Fe, Cu, Zn...) acides, bases	Chimique (organique)
	Saumure de pétrole	Chimique
Agri culturelles	Les flux de retour de l'irrigation	
	Déchets d'animaux	Chimique
	Les fertiliseurs et amendements du sol	Chimique
	Pesticides, herbicides et insecticides	Chimique (organique)
Effluents urbains, agricoles	Bactéries, virus, champignons	Microbiologique

Tableau VI: différents types de polluants

4. Défense naturelle contre la pollution :

La nature a des propriétés qui la protègent contre la pollution mais celle-ci devient insuffisante si la pollution dépasse ses proportions naturelles, donc La manière la plus efficace d'atténuer les pressions sur les écosystèmes aquatiques et les écologies rurales est de limiter l'exportation de polluants à la source ou de les intercepter avant qu'ils n'atteignent des écosystèmes vulnérables.(33)

Parmi ces propriétés :

- **Rôle protecteur du sol :**

Les sols constituent un puissant moyen d'épuration et de recyclage des eaux. Le complexe argilo-humique aussi appelé « complexe adsorbant est capable de fixer, en raison de sa charge négative, les ions positifs Échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ ...)

La capacité d'adsorption ionique et la rétention des cations (Ca, Mg, K, Na) du sol varient essentiellement en fonction de son épaisseur, de sa teneur en argile et en matières organiques. Ces cations peuvent s'échanger avec la solution du sol et les plantes et constituent le réservoir de fertilité chimique du sol, c'est ce qu'on appelle la capacité d'échange cationique.

En revanche, les solvants chlorés, l'acétone et le benzène sont très peu retenus par les sols et peuvent atteindre rapidement les nappes avec une grande persistance en entraînant avec eux d'autres molécules polluantes adsorbées.(34)(35)

- **Rôle du couvert végétal :**

Le couvert végétal agricole ou forestier agit par ses prélèvements cycliques dans la couche occupée par les racines : stockage dans la biomasse puis restitution au sol par dégradation (35)

De ce dernier, les chercheurs d'IMT Atlantique ont l'idée d'installer des matelas flottants dans lesquels ils incorporent des plantes (dénommé couramment « Marais Flottants »). Les racines se développent dans le matelas fibreux et atteignent l'eau, où elles forment un véritable réseau dont le rôle est : agir comme un filtre physique pour les polluants particulaires, et servir comme un support pour le développement de bactéries qui dégradent ou retiennent les indésirables.(36)

- **Autoépuration biologique des eaux souterraines :**

L'épuration naturelle est due soit à des phénomènes physico-chimiques (filtration, oxydation, adsorption sur des particules) soit à des organismes qui vivent dans le milieu (bactéries, champignons, protozoaires, algues, plantes...) et qui dégradent cette pollution (37)

5. L'impact sur la santé et l'environnement :

- **Sur la santé :** Parmi les maladies liées à l'eau on retrouve :

Les maladies provoquées par la présence de micro-organismes et d'agents chimiques dans l'eau de boisson ; celles comme la schistosomiase dont les larves se développent dans des gastéropodes d'eau douce ; ou encore le paludisme véhiculé par des moustiques qui se reproduisent en eau douce ou saumâtre. .(38)

- La pollution organique Favorise le développement d'organismes pathogènes.
- Azote (nitrates, phosphore) provoque la Maladie bleue chez les enfants et augmente le risque de la survenue de cancers
- Les métaux responsables des troubles respiratoires, digestifs, nerveux ou cutanés ainsi Arsenic, Nickel et Chrome également considérés comme cancérigènes.
- Les pesticides ont des Effets reprotoxiques (malformations, stérilité, troubles de la reproduction), mutagènes et cancérogènes.(39)

- **Sur l'environnement :**

La pollution hydrique touche la biodiversité et fait disparaître des espèces.(40)

- **Limitation de l'autoépuration :**

Lorsque la qualité de substances plus ou moins toxiques reçue est supérieure aux capacités auto-épuratoires de l'écosystème un déséquilibre peut être donc L'élimination des polluants n'est alors plus aussi efficace et ceux-ci tendent à s'accumuler dans le milieu pouvant alors devenir toxiques pour les espèces.

- **L'eutrophisation des milieux :**

Lorsque le milieu reçoit trop de matières nutritives assimilables par les algues et que celles-ci prolifèrent en quantité exceptionnelle, perturbant ainsi le Fonctionnement de tout l'écosystème.

- **Le réchauffement des eaux :**

Il est lié à l'utilisation de l'eau comme liquide de refroidissement par les industriels notamment dans les centrales thermiques et nucléaires.

- **L'appauvrissement de la biodiversité (15)**

6. Aspect législatif de la protection des eaux souterraines en Algérie :

6.1. Le Concept de base de protection des eaux souterraines en Algérie:

L'identification des zones sensibles à la pollution repose sur un ensemble de critères dont les plus importantes sont les suivantes :

- Le type de la nappe.
- L'épaisseur de la zone insaturée.
- La nature géologique de la roche réservoir et sa capacité de filtration.
- Vitesse d'écoulement des eaux souterraines.
- La nature géologique et l'épaisseur des couches de couverture.

Le code de l'eau, le code de protection de l'environnement et le code de santé publique présente l'ensemble des politiques prise par l'état concernant la protection des ressources en eaux souterraines.(41)

6.2. Synthèse des textes législatifs concernant la protection des ressources en eaux Souterraines en Algérie :

La protection de l'eau passe d'abord par la mise en place de textes législatifs qui réglementent et organisent le secteur de l'eau dans son ensemble. Nous citons dans ce qui suit les principaux textes législatifs :

-Loi n° 83-17 du 16 Juillet 1983 portant code des eaux (JORA N°30.1983) : définit le périmètre de protection comme contour délimitant un domaine géographique et les activités à l'intérieur sont interdites ou réglementées.(42)

-Loi n°05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005 relative l'eau. (JORA N°60.2005) : elle a pour objet de fixer les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et du développement durable des ressources en eau entant que bien de la collectivité nationale et montre la nécessité des périmètres de protection contre la pollution

Décret exécutif n° 07-399 du 14 DhouElhidja 1428 correspondant au 23 décembre 2007 relatif au périmètre de protection qualitative des ressources en eau. : il a pour objet de fixer les conditions et les modalités de création et de délimitation des périmètres de protection qualitative des ressources en eau, la nomenclature des périmètres ainsi les mesures de réglementation d'activité dans chaque périmètre de protection. Cette protection est assurée par 03 types :

- Le périmètre de protection immédiate
- Le périmètre de protection rapprochée
- Le périmètre de protection éloignée

-Décret exécutif n° 10-73 du 21 Safer 1431 correspondant au 06 février 2010 relatif à la protection quantitative des nappes aquifères. Fixe les modalités de délimitation de périmètre de protection quantitative des nappes aquifères ainsi que les conditions spécifiques d'utilisation de leurs ressources en eau.(41)

- Décret du 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine, il a pour intérêt de fixer les paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine et les modalités de contrôle de conformité.(43)

-Décret du 25 avril 2012 relatif à l'exploitation et à la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source par l'évaluation du périmètre de protection de la ressource.(43)

-Décret du 28 août 2013 relatif aux programmes d'actions à mettre en œuvre en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole(43)

-Décret du 4 mars 2014 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine, il a comme intérêt de fixer les valeurs pour certains paramètres organoleptiques et physico-chimiques.(43)

Chapitre III : Les métaux lourds

1. Définition des éléments traces métalliques :

En terminologie, nous préférons maintenant les éléments traces métalliques (ETM) aux métaux lourds. En effet, les métaux lourds comprennent aussi les métaux légers (comme l'aluminium).

Selon le rapport d'information du Sénat " Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé », les métaux lourds (métaux ou métalloïdes : arsenic) sont généralement éléments métalliques naturels avec une masse volumique supérieure à 5000kg / m³. Mais ce seuil est parfois réduit à 4000kg/m³(44)(45)

Le tableau périodique des éléments chimiques est présenté avec une légende de classification. Les éléments sont colorés en fonction de leur groupe chimique. Les groupes sont : Métaux alcalins (bleu), Métaux alcalino-terreux (vert), Métaux de transition (bleu foncé), Métaux pauvres (bleu clair), Lanthanides (bleu très clair), Actinides (bleu très clair), Métaux alcalins (bleu), Métaux alcalino-terreux (vert), Métaux de transition (bleu foncé), Non-métaux (bleu clair), Halogènes (bleu très clair), Gaz rares (bleu très clair). Les éléments sont classés par ordre croissant de numéro atomique.

Figure 7 : tableau périodique

2. Les métaux lourds dans l'environnement :

Ils sont naturellement présents dans notre environnement et largement utilisés dans l'industrie. Leurs présences dans les sols et les milieux aquatiques sous forme de particules très fines est due au facteur vent qui favorise leurs propagations contaminant ainsi la faune et la flore, et aboutissant dans la chaîne alimentaire.(45)

3. Toxicité des métaux lourds :

Ces métaux lourds ne présentent pas tous les mêmes risques en raison de leurs effets sur les organismes, leurs propriétés chimiques, physico-chimiques et biologiques. Leur toxicité est très variable et leur impact sur l'environnement très différent

Certains métaux sont essentiels pour l'organisme mais a des concentrations minimales, d'autres n'ont aucune fonction biologique. Les éléments dont la valeur biologique peuvent être

toxiques à des concentrations élevées ; mais leur toxicité ne dépend pas seulement de cette concentration, mais aussi de leur spéciation, c'est-à-dire de la forme chimique sous laquelle ils sont présents dans notre environnement(45)

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

Si les métaux lourds sont au nombre de 41, les éléments traces métalliques suivants sont les plus contrôlés :

Arsenic, Cadmium, Chrome, Cuivre, Mercure, Nickel, Plomb, Sélénium, Zinc(44)

4. Les principaux éléments traces métalliques :

4.1. Le plomb :

1) Origine de plomb :

Le plomb est naturellement présent en petites quantités dans la croûte terrestre et se trouve dans de nombreux minéraux, dont le plus courant est le sulfure de plomb. (46)

C'est l'un des métaux les plus anciens connus ; on l'a trouvé dans des pigments recouvrant des tombes préhistoriques (40 000 av. J.-C.).(45)

➤Utilisations :

Le plomb est souvent utilisé dans la fabrication des accumulateurs acides, des composés pour l'essence (plomb tétraéthyle) des pigments, des munitions, pour le gainage de certains câbles ou encore pour la soudure.(46)

➤Le plomb dans l'eau :

À l'état naturel il est nettement introuvable dans l'eau (sauf dans certains endroits spéciaux pour les eaux de surface)(16)

L'origine du plomb dans les ressources en eau est en partie naturelle revient à l'oxydation de carbonates et sulfures en sulfates mais souvent par les industries des minières et contaminations par des différents matériaux dont le plomb est un composant pour la partie anthropique. Il apparaît que même certains plastiques comme PVC ou même l'étain ont la capacité de libérer le plomb dans les eaux avec lesquelles ils sont en contact (47)(46).

Pour l'eau potable distribué, le contact avec les tuyaux en plomb est considéré comme la raison principale et exclusive de la présence de ce métal dans l'eau par l'effet d'une eau corrosive sur les installations domestiques du plombier, les soudures, les robinetteries notamment en alliage à haute teneur en plomb ou par des raccords domestiques au réseau. .(47)(48)

La dissolution de plomb provenant de l'installation de plomberie dépend de plusieurs :

- Ph.
- La température (l'augmentation de la température de l'eau de 12 à 25 c multiplie la solubilité du plomb en double)
- L'alcalinité
- Le dépôt de calcaire dans les conduites et le temps de séjour de l'eau (les eaux douces et acides étant plus susceptibles de provoquer la dissolution du plomb),
- La longueur des conduites en plomb
- Le changement du traitement (le chlore libre résiduel tend à former des dépôts plus insolubles contenant du plomb tant que la chlora mine résiduelle peut former des sédiments solubles),
- La présence de l'oxygène dissous, du dioxyde de carbone,
- Les turbulences. .(47)(48)(10)

2) Voie d'exposition :

La principale voie d'exposition au plomb dans l'eau est la voie orale (La boisson représente en moyenne 50% des contributions), mais d'autres sources d'exposition peuvent être intervenir : l'inhalation de poussières, y compris les vieilles peintures contenant des sels de plomb, l'exposition directe ou indirecte à la fumée de cigarette.(46)

3) L'effet sur l'environnement :

Le plomb est parmi les contaminants les plus toxiques dans l'environnement. On peut le trouver en synergie avec d'autres métaux et polluants tels que le cuivre, le cadmium ou le sélénium.

Il n'est pas biodégradable et sa demi-vie géochimique est d'environ 7 siècles.

Les champignons sont de bons réservoirs du plomb et jouent un rôle important dans le cycle toxique. La biodisponibilité du plomb pour les plantes est très importante, surtout en cas d'acidité.

Le plomb est également très toxique pour de nombreux invertébrés, en particulier ceux qui vivent en eau douce, et pour les amphibiens.

Enfin, l'ingestion de grenaille de plomb est particulièrement toxique pour les oiseaux et est une cause fréquente de saturnisme aviaire (45)

4) L'effet sur la santé humaine :

La toxicité chronique bien connue du plomb est « saturnisme », c'est l'inhibition de cinq des enzymes nécessaires à la synthèse de l'hème et la diminution de la vie des globules rouges. Le plomb qui pénètre dans le corps humain, que ce soit par inhalation ou par ingestion (La part due à l'eau est loin d'être négligeable (20%)).(47)

Il est diffusé par la circulation sanguine vers les organes où il est stocké (cerveau, cheveux, os, etc.). La demi-vie du plomb est relativement longue dans les tissus (30 jours dans le sang, 10-20 ans dans les os). Il explique qu'après une exposition relativement longue, même si toutes les sources de contamination ont disparu, on peut trouver du plomb dans le sang par libération endogène(46).

Les enfants, les personnes âgées ainsi que les femmes enceintes sont les plus vulnérables. En effet, le fœtus n'est pas protégé par le placenta et il est extrêmement sensible au plomb, ce qui provoque des effets mentaux pour de faibles doses d'exposition.

Les enfants sont les plus touchés parce que leur corps absorbe plus de plomb que celui des adultes (y compris le plomb digestif)(45). Les risques d'intoxication au plomb sont accrus pour cette catégorie parce que les enfants qui jouent au sol, sont plus en contact avec des poussières ou jouent avec des écailles de peinture ou des objets à base de plomb et portent naturellement souvent les doigts ou les objets à la bouche.

Le saturnisme est souvent asymptomatique, mais il peut avoir de nombreux effets nocifs

- Diminution de la durée de vie de globules rouges
- Troubles neurologiques (en cas d'intoxication aiguë : c'est-à-dire pour des quantités de plomb dans le sang de plus de 700 à 1000 micro g/l on peut observer des comas mortels)

- Lésions rénales
- Diminution des fonctions cognitives
- Baisse de quotient intellectuel
- Une exposition chronique peut entraîner des risques d'hypofertilité, de malformations fœtale, douleurs abdominales, constipation « colique de plomb » (46)(46)

➤ **Méthode d'analyse :**

- Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme : La limite de détection est de 30 µg/L.
- Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec four graphite (atomisation électrothermique) : La limite de détection est de 0,5 µg/L.
- Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP) : La limite de détection est d'environ 5 µg/L en ICP et de 0,005 µg/L en ICP/MS.(49)

Les conditions d'échantillonnage sont très importantes en ce qui concerne ce paramètre :

La discussion des résultats dépend de la méthode utilisée (échantillonnage aléatoire, échantillonnage après échantillonnage ou échantillonnage proportionnel sur plusieurs jours) et l'objectif poursuivi.

- Les premiers échantillons présentent généralement les concentrations de plomb les plus élevées, mais cette méthode ne reflètera pas les teneurs durant une utilisation normale si le même réseau alimente la chasse d'eau et ainsi de suite.
- Les échantillons prélevés après purge, en revanche, présentent des concentrations cohérentes mais avec un temps de contact entre l'eau et le le matériau contenant du plomb minimale
- Les échantillons prélevés au hasard au cours de la journée montrent les niveaux les plus variables mais elles présentent le plus fidèlement l'eau consommée par les gens

Donc pour détecter le niveau moyen d'exposition, il est nécessaire de prélever plusieurs échantillons.(48)

4.2. Le cadmium :

1) Origine de cadmium :

Le cadmium, un élément rare dans la croûte terrestre (0,15 g / tonne de terre en moyenne), se trouve à l'état de traces dans la plupart des sols et presque toujours associé aux minerais de zinc ou de plomb(46).

➤ **Utilisations :**

Il est utilisé dans l'industrie des revêtements (le cadmium est massivement utilisé pour ses propriétés anticorrosion car il est inaltérable à l'air), la fabrication d'alliage et de soudures, de pigments (les pigments de cadmium sont essentiellement à base de sulfure de cadmium et permettent une coloration rouge ou orange : ils ont la caractéristique « la résistance à la lumière et aux UV ainsi qu'à la chaleur. »), comme stabilisants pour matières plastiques et batteries, dans l'industrie de céramiques et des engrais phosphatés(46)(45).

➤ **Le cadmium dans l'eau :**

Dans les eaux naturelles on trouve le cadmium sous forme de Cd^{2+} majoritairement, cd (oh)⁺ dans les milieux légèrement basiques voire cd_4 pour les concentrations élevées. Il est légèrement associé au zinc.

Le cadmium métal n'est pas hydrosoluble mais certains de ses sels possèdent cette propriété même les carbonates et les hydroxydes de Cd peuvent l'acquérir mais a des ph acides.(46)(47)

Les eaux non polluées ont généralement une dose inférieure à 1 microg/l mais peuvent parfois aller jusqu'à 5 microg/l voire 10 microg/l dans de rares cas.

La pollution par des effluents industriels et agricoles ou des infiltrations (zones remblayées ou champs d'épandage de boues de stations d'épuration) est à l'origine de la présence de ce métal dans Les eaux souterraines et de surface.

Dans l'eau de robinet, le cadmiage des accessoires pour plombiers, pour le brasage à l'argent et pour les tuyaux en acier galvanisé donne parfois des niveaux élevés de ce métal (46).

2) Voies d'exposition :

La nourriture (mollusques, crustés, Les végétaux à feuillage vert : salades, choux, épinards, les céréales ou les champignons) voire la contamination par la vaisselle en email et céramique représentent la principale voie d'exposition (15 à 60 micro g/jour/personne).

Autres sources :le tabagisme représente une source significative supplémentaire d'exposition au cadmium(48)(46) .

3) L'effet sur la santé :

Le cadmium est un élément très toxique même à faible dose (à partir de 100 micro/g/jour) et il n'a aucune fonction connue dans le corps.

L'effet cumulatif reste le principal danger de ce métal car il ne s'élimine pratiquement pas (longue demi vie 10 à 35 ans). Absorption dépend de la solubilité des composés à base de cd.

Le cadmium passe par le sang pour se concentrer dans certaines parties de corps (foie et surtout reins 30à 40%). Des intoxications chroniques se traduisent par des accidents gastro-intestinaux, pulmonaires, rénaux et nerveux, des lésions osseuses (à cause de sa structure très proche du calcium, et à ce titre est capable d'interagir avec le calcium contenu dans les os. Il peut donc se substituer au calcium osseux et provoqué des malformations et porosités osseuses donc troubles grave pour le corps), une hypertension artérielle.(46)

Un cas d'intoxication aiguë (600microg /j) est illustré par la maladie des os d'itai -itai (japon) cause par la contamination de l'eau de cuisson du riz par des rejets de cadmium venant d'une mine de zinc proche.(46)(45)

Les personnes âgées et les insuffisants rénaux sont les plus vulnérables.

➤ CLASSEMENT CIRC : 2A

Cadmium est cancérogène quand il est inhalé et le CIRC a classé le cadmium et ses composés dans le Groupe 2A (probablement cancérogènes pour l'homme). Cependant, il n'existe pas de preuve de la cancérogénicité du cadmium par voie orale et pas de preuve claire de sa génotoxicité.(45)

➤ Les Méthodes d'analyse :

- Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire : limite de détection 0,02 mg/L.
- Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme : limite de détection 2 µg/L
- Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec four graphite (atomisation électrothermique) : limite de détection 0,05 µg/L

- Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP) : limite de détection 0,3 µg/L en ICP et 0,05 µg/L en ICP/MS(49)

4) L'effet sur l'environnement :

Le cadmium est un élément très toxique provoque une pollution notamment dans les coquillages et organismes du haut de la chaîne alimentaire. Il est toxique à faible dose pour de nombreuses espèces animales et végétales comme le vairon, Il y a également une mortalité aiguë de nombreuses espèces de poissons due à la pollution par le cadmium. L'élément se trouve aussi dans les chaînes alimentaires, notamment le riz.

Les huîtres peuvent contenir dans les eaux les moins polluées une quantité de cadmium de l'ordre de 0,05 mg / kg, et parfois 5 mg / kg dans les eaux les plus polluées(45).

4.3. Le zinc :

1) Origine :

Le zinc est un métal naturellement présent sur le globe (0,04 a/kg de terre) et se rencontre surtout à l'état naturel au niveau des gisements de plomb(46).

➤ Utilisation :

Le zinc est souvent utilisé dans des domaines aussi divers que la galvanisation, les alliages (laiton), l'imprimerie, la teinturerie...

Les sels de zinc sont utilisés pour la fabrication de caoutchouc, de produits luminescents, de piles, d'insecticides, d'engrais, ainsi que dans les industries de traitements de surface et pharmaceutiques, etc.(46)

➤ Le zinc dans l'eau :

La quantité de zinc retrouvé dans l'eau naturelle est généralement faible en raison de son adsorption sur les solides en suspension et les sédiments. D'autre part, la solubilité des sels de zinc peut être élevée. La concentration dans L'eau du robinet est probablement beaucoup plus élevée, généralement entre 0,01 et 1 mg / l, que l'eau de surface en raison de la dissolution du zinc dans les tuyaux galvanisés, les appareils de plomberie et le laiton. En général, plus l'eau est acide, plus elle est susceptible de contenir des concentrations élevées de zinc.(46)

2) Voie d'exposition :

Les aliments restent de loin la voie d'exposition la plus importante pour l'homme. Un individu ingérerait environ 12 mg par jour, tandis que l'eau potable ne fournirait pas plus de 400 µg par jour.

Les apports atmosphériques sont négligeables.(46)(47)

3) Impact sur l'environnement :

Le zinc est naturellement présent dans l'air, l'eau et le sol, mais les concentrations de zinc sont anormales en raison des rejets du zinc provenant des activités humaines.

L'eau est polluée par le zinc en raison de la présence de grandes quantités de zinc dans les eaux usées des installations industrielles.

Certains poissons peuvent accumuler du zinc dans leur corps lorsqu'ils vivent dans des eaux contaminées par le zinc.

Quand le sol des terrains agricoles est pollué par du zinc, les animaux ingèrent aussi des concentrations élevées de zinc.

Le zinc soluble dans l'eau dans le sol peut contaminer les eaux souterraines

En raison de l'accumulation de zinc dans le sol, les plantes absorbent souvent des quantités de zinc que leur système ne peut pas gérer, de sorte que seul un nombre limité de plantes a une chance de survivre

Le zinc est une menace sérieuse pour la production des terres agricoles car il a une influence négative sur l'activité des micro-organismes et les vers de terre. Malgré ça les engrais contenant du zinc sont toujours utilisés(50)

4) Effet sur la santé :

Le zinc est un Oligo élément essentiel au métabolisme humain. Les besoins quotidiens vont de 4 à 10 mg/j voire 16 mg pour les femmes enceintes et les nouveaux nés.

Il intervient en complément notamment au niveau :

- Du système immunitaire en augmentant le nombre de lymphocytes T
- De la cicatrisation des plaies
- De la synthèse de l'ADN et des protéines
- Du métabolisme de l'insuline
- Du maintien des os

- Du développement et le bon fonctionnement du système nerveux
- De la préservation du goût et de l'odorat
- De la prévention des problèmes prostatiques
- De la production de spermatozoïdes...

Les manifestations d'intoxication aiguë comprennent les troubles digestifs. Des accidents rénaux ont été attribués au chlorure de zinc. Les effets gênants du zinc sont essentiellement organoleptiques. Des concentrations de zinc supérieures à 5 mg / l donnent à l'eau un goût astringent désagréable, une opalescence et des dépôts granuleux.(51)

5) Manque de zinc :

Une carence en zinc peut entraîner de nombreux problèmes tels que la fatigue, des troubles du développement, des maladies de la peau (comme l'acné et l'eczéma)...

Une carence en zinc affaiblit le système immunitaire, qui est moins efficace pour lutter contre les infections. De plus, une carence en zinc entraînera également des troubles du goût et de l'odorat ainsi que des troubles sexuels, notamment une diminution de la fertilité chez l'homme.

6) Excès de zinc

En cas de consommation excessive de zinc, des symptômes tels que des difficultés à parler, à marcher, des tremblements et des problèmes digestifs (nausées et vomissements) peuvent survenir. De plus, trop de zinc dans le corps réduit le taux de bon cholestérol (HDL) dans le sang et empêche l'absorption du cuivre (51)(50)

➤ Normes :

Limite de qualité selon le journal officiel Algérien (2014) : 5mg/l

La limite de qualité en France : les eaux ne doivent pas agressives, pour UE : les eaux ne doivent pas agressives, pour OMS : inutile, pour USA : 5mg/l (46)(52)

• Méthodes d'analyse :

- Méthode par spectrométrie d'absorption
- Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme : La limite de détection est de 2 µg/L.
- Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec four graphite : La limite de détection est de 0,05 à 1 µg/L.

- Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP) : La limite de détection est d'environ 1 µg/L en ICP et de 0,2 µg/L en ICP/MS.(49)
-

4.4. Le cuivre :

1) Origine :

Le cuivre est un métal largement distribué dans la croûte terrestre et existe sous différentes formes (minerais libres, oxydés ou sulfurés). Les teneurs en cuivre des sols ne sont pas fixes ils varient en fonction des caractéristiques géographiques locales(46)(47)

➤ Utilisations :

Le cuivre métallique est largement utilisé dans les alliages - notamment le laiton (cuivre et zinc), le bronze (cuivre et étain), le nickel-argent (cuivre, zinc et nickel) - et dans l'industrie électrique.

Il est également largement utilisé dans les réseaux de distribution à cause de sa résistance à la corrosion. Les sels de cuivre sont largement utilisés en agriculture comme insecticides, fongicides, algicides, et dans l'industrie textile et photographique, la fabrication de pigments, les tanneries, les traitements de surface, les céramiques(46).

➤ Le cuivre dans l'eau :

Alors que le cuivre métallique est insoluble dans l'eau, bon nombre de ses sels sont solubles. Cependant, les concentrations sont généralement inférieures à 1 mg / l dans les eaux de surface.

Dans l'eau, la nature du cuivre dépend du pH, de la concentration de carbonate et d'autres anions en solution(46).

La toxicité du cuivre par ingestion d'eau est inhabituelle chez l'homme. De plus, les sels de cuivre ont un goût très désagréable, de sorte que des niveaux élevés n'incitent pas le consommateur à boire de l'eau.

La concentration de cuivre pour laquelle un mauvais goût est détecté est comprise entre 1 et 2 mg / l, et des concentrations supérieures à 5 mg / l rendent l'eau impropre à la consommation(46)

2) Voie d'exposition :

Bien que l'eau potable puisse contenir du cuivre, la principale source d'apport en cuivre provenant de l'alimentation (de l'ordre de 1 à 5 mg / jour)(46)

3) Cuivre dans l'environnement :

Le cuivre pénètre dans l'air principalement lors de la combustion de combustibles fossiles. Il reste en l'air pendant une période assez longue avant de se déposer lorsqu'il pleut.

Lorsque le cuivre pénètre dans le sol, il se lie fortement à la matière organique et aux minéraux. En conséquence, il ne voyage pas très loin et ne pénètre presque jamais dans les eaux souterraines. Dans les eaux de surface, le cuivre peut parcourir de longues distances, qu'il soit en suspension sur des particules de boue ou sous forme d'ion libre.

Lorsque le sol des terres agricoles est pollué par du cuivre, les animaux absorbent des concentrations élevées causant des problèmes de santé. Les moutons, en particulier, souffrent grandement de l'empoisonnement au cuivre parce que les effets du cuivre chez les moutons se produisent même à de très faibles concentrations(53)

4) Effet de cuivre sur la santé :

Le cuivre est un oligo-élément essentiel pour le métabolisme humain. La quantité de cuivre nécessaire pour le corps d'un adulte est d'environ 3 mg / jour et 2 mg / jour pour les enfants(46).

Il contribue à la formation de globules rouges, aux défenses immunitaires, à la minéralisation osseuse, à la régulation des neurotransmetteurs et à la production de mélanine (un pigment qui protège la peau du soleil). Il a également un rôle antioxydant, cofacteur de la superoxyde dismutase (une enzyme clé dans la défense contre une oxydation excessive). Il est également indispensable dans la lutte contre les infections et le bon fonctionnement du cœur(54).

○ Risques de sous-dosage et de surdosage en cuivre :

La carence en cuivre est extrêmement rare. Chez le nouveau-né, elle peut être due à la maladie de Menkès, une maladie génétique liée à une carence en une protéine de transport du cuivre, qui prive tous les tissus de cet oligo-élément. Les premiers signes sont des cheveux anormaux, clairsemés et ternes. Apparaissent alors un retard staturo-pondéral, des troubles digestifs, une faiblesse musculaire, des convulsions. Chez les adultes, il en résulte une anémie et une ostéoporose précoce.(54)

L'excès de cuivre provoque une hépatite.

Il peut éventuellement être lié à un abus de supplémentation en oligo-éléments

Dans la maladie de Wilson, le cuivre s'accumule dans le corps en raison d'une anomalie génétique qui empêche son élimination normale. Cette maladie est traitée avec des chélateurs du cuivre (qui piègent le cuivre pour qu'il soit éliminé dans l'urine).

Si le cuivre a une action antioxydante via la superoxyde dismutase, en excès, il peut également augmenter les phénomènes d'oxydation, endommageant les lipides ou l'ADN(54)

➤ **Méthode d'analyse :**

- Méthode par spectrométrie d'absorption
- Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme : La limite de détection est de 5 µg/L.
- Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec four graphite : La limite de détection est 0,5 µg/L.
- Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP) : La limite de détection est d'environ 1 µg/L en ICP et 0,02 µg/L en ICP/MS.(49)

	JORAD N°13 9 mars 2014 (µg/L)	France (µg/L)	UE (µg/L)	OMS (µg/L)	Classement CIRC
PLOMB	10	10	10	10	2B
CADMIUM	3	5	5	3	2A
ZINC	5000	/	/	/	/
CUIVRE	2000	2000	2000	2000	/

Tableau VII : Normes des éléments traces métalliques cités : (46)

5) Principales techniques de dosages métaux lourds :

❖ **Spectroscopie d'absorption atomique :**

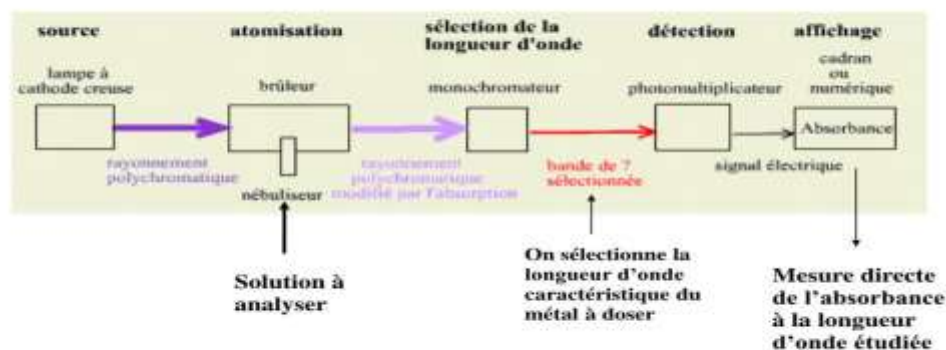
Dans cette technique, l'échantillon est aspiré à travers un capillaire à l'aide d'un gaz (air) ou d'un oxydant. Le capillaire amène la solution dans le nébuliseur dont le rôle est de produire un aérosol solution-gaz dans lequel les gouttes sont aussi fines que possible. L'aérosol est ensuite mélangé avec de l'air et du combustible supplémentaires (généralement de l'acétylène) dans une chambre de prémélange. Ce mélange arrive à la base du brûleur puis pénètre dans

une flamme laminaire où aura lieu l'atomisation. Lorsque la solution est pulvérisée dans la flamme, l'eau et le solvant s'évaporent, les sels et leurs produits de décomposition sont dissociés en atomes ou radicaux. Ceux-ci sont excités par l'énergie thermique de la flamme (2500 ° K).

Il s'agit de l'absorption d'une source lumineuse à la longueur d'onde caractéristique de l'élément mis à l'état d'atomes neutres en phase vapeur. La source lumineuse qui traverse la flamme est une lampe à cathode creuse, dont la longueur d'onde d'émission correspond à l'élément à doser. Le rapport des intensités incidente et transmise est proportionnel à la quantité d'atomes de l'élément à mesurer et permet de déterminer sa concentration dans la solution par rapport à la plage d'étalonnage(55)

IV. Spectroscopie d'absorption atomique de flamme

1. Le spectrophotomètre



❖ Spectroscopie UV-Visible :

Le principe de cette spectrométrie consiste à mesurer l'intensité lumineuse absorbée par un échantillon donné, qui est proportionnelle au nombre de molécules à l'origine de l'absorption. Cette proportionnalité est exprimée par la loi de Beer Lambert. On mesure l'intensité incidente (I°) et l'intensité passée à travers l'échantillon (I); le rapport I / I° est appelé transmittance. L'absorbance (A) ou densité optique est définie comme le logarithme de (I / I°), (49) et est égale à : $A = \epsilon.L.C$

- ϵ : le coefficient d'extinction spécifique propre à chaque molécule
- L : longueur parcourue par la radiation par la radiation au sein de l'échantillon (c'est la largeur de la cuve)
- C : la concentration de l'échantillon

- **Polarographie :**
 - **Polarographie classique :**

Principe :

Dans une cellule voltampérométrique, trois électrodes sont disposées et immergées dans la solution à étudier. Ces électrodes sont une électrode de référence, une électrode auxiliaire et une électrode de travail, généralement une électrode à goutte de mercure tombante. Un potentiel est appliqué au niveau de la goutte de mercure ; le balayage de tension est linéaire, décroissant ou croissant, ce qui permet l'observation de l'intensité d'un courant dû à l'oxydation ou à la réduction des composés présents dans le milieu en fonction de ce potentiel appliqué. En présence d'un composé électro-actif en solution, le courant augmente rapidement lorsque le potentiel atteint une valeur seuil susceptible de réduire ou d'oxyder la substance. La courbe résultante est sous forme sigmoïdale (une courbe en « S ») et est appelée vaguepolarographique. La hauteur de la vague est proportionnelle à la concentration et le potentiel de la vague est représentatif du composé électrolysé. Ce potentiel est défini par le « potentiel demi-vague » c'est-à-dire le potentiel auquel le courant atteint la moitié de sa valeur limite, et chaque espèce est caractérisée par ce potentiel demi-onde(56)

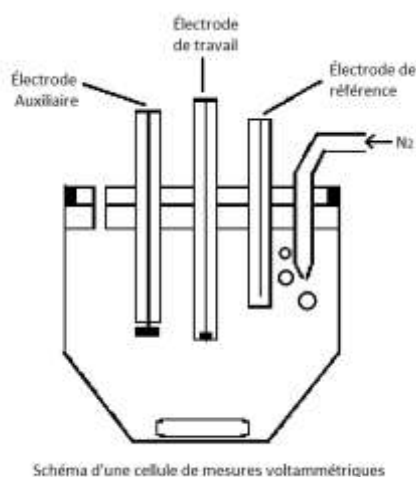


Figure 8 : cellule polarographique

Electrode de travail : d'une surface très petite, il peut jouer le rôle d'une anode ou une cathode selon le potentiel **E** appliqué.

Electrode auxiliaire : son rôle est de mesurer l'intensité du courant électrique "i" grâce à un milliampèremètre.

Electrode de référence : Une électrode de référence est une électrode qui maintient un potentiel pratiquement invariant dans les conditions prévalant dans une mesure électrochimique.

Le rôle de l'électrolyte de support :

Il permet de rendre la migration des espèces Red/Ox négligeables, et leur transport dans la solution se fait seulement par diffusion (grâce à un gradient de concentration), et non pas par migration (sous l'effet d'un champ électrique) ou bien convection (agitation).

Le rôle de L'azote :

Azote pour régler la pression de la goutte tombante et même pour éliminer l'oxygène dans la cellule afin d'éviter sa réduction(49)(56)

Partie Pratique

MATERIELS ET METHODES

1. Problématique :

L'eau souterraine a été synonyme d'eau propre qui répond naturellement aux normes de la potabilité cependant L'altération de l'environnement naturel, en particulier de l'aquifère, est devenue progressivement une préoccupation mondiale. La qualité naturelle des eaux souterraines peut être altérée par différents polluants ce qui dégrade cette dernière.

Parmi ces polluants, les métaux lourds, caractérisés par leurs fortes toxicités, même à de faibles concentrations.²

À partir de ce que nous venons de développer, se pose la question de savoir si les eaux souterraines exploitées principalement pour la consommation respectent les normes nationales de potabilité en visant les teneurs de certains métaux lourds (Pb, Cd) et certains minéraux (Zn et Cu)

Dans ce qui suit nous allons essayer de répondre à cette question.

2. Objectifs de l'étude :

2.1. Objectif principal :

Notre travail a pour objectif principal de :

- Apprécier la qualité des eaux souterraines de certaines sources de la wilaya de Tlemcen qui sont exploitées par la majorité de la population en déterminant la concentration de certains métaux lourds (plomb, cadmium, cuivre et zinc) par la technique polarographie en confrontant les valeurs des paramètres analysés aux normes physico-chimiques de potabilité fixées par la réglementation Algérienne et l'OMS.

2.2. Objectif secondaire :

Notre travail a pour objectif secondaire :

Évaluer les habitudes de consommation d'eau de source dans la wilaya de Tlemcen à l'aide d'un questionnaire.

3. But :

Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux de certaines sources dans la région de Tlemcen en évaluant la concentration de certains éléments traces métalliques .

²(7)

Cette partie comporte 02 volets :

- Le premier c'est l'analyse de certains paramètres physico-chimiques par la technique polarographie
- Le deuxième c'est une analyse des habitudes alimentaires d'eaux souterraines dans la région de Tlemcen via un questionnaire

4. Partie analyse :

4.1. Type, lieu et calendrier de l'étude :

C'est une étude expérimentale transversale descriptive, elle s'est déroulée au niveau du laboratoire d'Hydrologie Bromatologie de la faculté de médecine de Tlemcen en collaboration avec le laboratoire de recherche de chimie analytique-Université Abou Bakr Belkadi, Durant le mois de Septembre et Octobre 2020.

4.2. Echantillon d'étude :

L'échantillon d'étude comportait 07 eaux de sources non embouteillées situées dans la wilaya de Tlemcen.

4.3. Echantillonnage :

Les eaux de sources analysées sont au nombre de 07 et sont toutes situées dans la wilaya de Tlemcen

- La source « Attar » : 34.86497, -1.31679
- La source « beniboublene » : 34.86267, -1.33788
- La source « Ain el hdjer » : 34.931, -1.36821
- La source « Ain el hout » :34.93107, -1.32402
- La source « Ain mazouta » :34.86497, -1.31679
- La source « Sidi Saïd » :34.88989, -1.31411
- La source « boudjlida » : 34.91844, -1.34451



Figure 9: Localisation géographique des sources analysées de la wilaya de Tlemcen



Figure 10 : Source Ain el hout



Figure 11 : Source Ain mazouta



Figure 12 : Source ain el hdjer



Figure 13 : Source ain el hdjer



Figure 14 : Source beniboublene



Figure 15 : Source Ain el hout

➤ Le choix et le mode de lavage du flacon :

Pour réaliser les prélèvements d'eau de source nous avons utilisé des flacons en verre borosilicatés pour éviter toute contamination possible et d'une capacité de 250ml et 100ml.

Nous avons préparé les récipients la veille du prélèvement selon le mode opératoire suivant :

Matériels et Méthodes

- Laver le récipient et le bouchon avec une solution diluée de détergent et d'eau du robinet.
- Rincer abondamment avec l'eau du robinet.
- Rincer avec une solution aqueuse d'acide Nitrique à 10%.
- Vider et remplir complètement avec une solution aqueuse d'acide Nitrique 10%.
- Fermer avec le bouchon et laisser reposer pendant au moins 24h.
- Vider le récipient, rincer avec de l'eau d'une qualité appropriée (eau ultra pure), et replacer immédiatement le bouchon.



Figure 16: Flacons en verre borosilicaté capacité 100ml et 250ml



Figure 17 : Solution mère (70%) et fille (10%) de l'acide nitrique

Matériels et Méthodes

➤ Déroulements des conditions d'échantillonnage :

Les récipients sont rincés avec l'eau de source trois fois puis remplis complètement jusqu'à l'extrémité puis scellés de manière à faire éviter des réactions interférentes avec l'air.

Pour assurer la traçabilité de nos résultats, les flacons ont été étiquetés en précisant le nom de la source et les paramètres mesurés in situ, conservés à température basse dans des glacières et acheminés rapidement au laboratoire.

➤ Les paramètres mesurés sur le terrain :

• La température :

Pour la mesure de la température nous avons utilisé thermomètre à mercure étalonné avec une graduation en 0.1c



Figure 18 : thermomètre à mercure

• Le pH (Potentiel Hydrogène) :

La mesure du pH a été réalisée par papier ph, afin de confirmer les mesures trouvées dans laboratoire.



Figure 19 : papier pH

5. Paramètres étudiés :

➤ Paramètres réalisés au niveau du laboratoire d'hydro-bromatologie :

Paramètres physiques

Méthodes d'analyse

pH, conductivité électrique

Méthode potentiométrique

➤ Paramètres réalisés au niveau du laboratoire de recherche de chimie analytique :

Paramètres chimiques

Méthodes d'analyse

Les ions métalliques (Pb, Cu, Cd, Zn)

Polarographie

5.1. Paramètres physiques :

5.1.1. Mesure du pH :

Pour la mesure du potentiel hydrogène nous avons utilisé un pH-mètre Adwa AD1030 avec une électrode combinée selon les étapes suivantes :

-nous avons allumé le pH mètre préalablement étalonner avec les solutions tampons (pH=4, pH=7 et pH=10), nous avons ensuite rincé l'électrode en verre avec l'eau distillée.

Matériels et Méthodes

Nous avons plongé l'électrode dans un bécher rempli d'eau à analyser sous agitation magnétique douce, une fois stabilisée la valeur de pH affichée a été notée. Cette valeur correspond à une température de 25°C.

Nous avons enfin nettoyé l'électrode après utilisation à l'eau distillée, et l'avons conservée dans une cupule de chlorure de potassium.



Figure 20 : pH-mètre

5.1.2. Mesure de la conductivité :

Pour la mesure de la conductivité nous avons utilisé un conductimètre PI DDSJ-308A de la manière suivante :

Nous avons allumé l'appareil préalablement étalonné avec une solution étalon généralement du KCl, on a ensuite rincé l'électrode et le thermomètre à l'eau distillée, et les avons plongés dans un bécher contenant l'eau à analyser. La valeur de conductivité stabilisée affichée ($\mu\text{S}/\text{cm}$) a été notée avec la température. Enfin on a rincé la cellule à l'eau distillée et l'avons conservée dans de l'eau distillée.

Matériels et Méthodes



Figure 21: Conductimètre

Au niveau de laboratoire de recherche :

1. Les solutions utilisées :

- Une solution tampon d'acétate d'ammonium 500 µg/L pH= 4,6 servant d'électrolyte support.

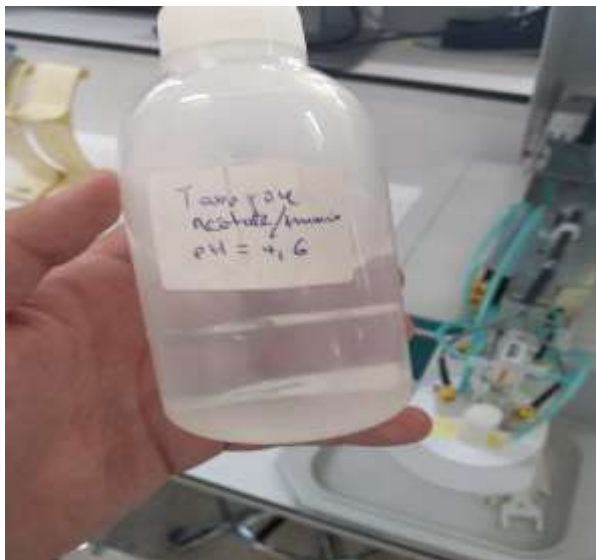


Figure 22 : solution tampon d'acétate d'ammonium

- La solution étalon de métaux utilisés a été préparée à partir des solutions suivantes :
 - ✓ Zinc (solution étalon ,1000mg/l Zn, volume 500ml)
 - ✓ Cadmium (solution étalon ,1000mg/l Cd, volume 500ml)
 - ✓ Plomb (solution étalon ,1000mg/l Pb, volume 500ml)

Matériels et Méthodes

- ✓ Cuivre (solution étalon ,1000mg/l Cu, volume 500ml)



Figure 23 : solutions étalons des quatre éléments

2. Dispositif expérimental :

- Appareil ultrasons utilisée pour nettoyer parfaitement la verrerie de dosage de toute contamination possible.

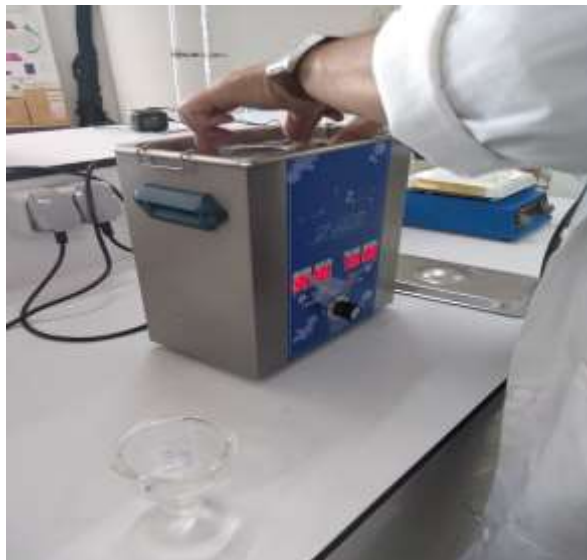


Figure 24 : appareil ultrasons

- Pour tracer les polarogrammes, nous avons employé un polarographe de marque Metrohm 797 VA Computrace.



Figure 25 : cellule polarographie

➤ **Mode opératoire :**

A 10 ml de la solution analyser placer dans la cellule polarographique on ajoute 0.5ml de l'électrolyte support (pH=4.6) et on trace le polarogramme de l'échantillon. On ajoute ensuite deux ajouts (solution standards), les concentrations de ces ajouts sont choisies en fonction de celle attendus dans l'échantillon (10 μ L, 25 μ L).

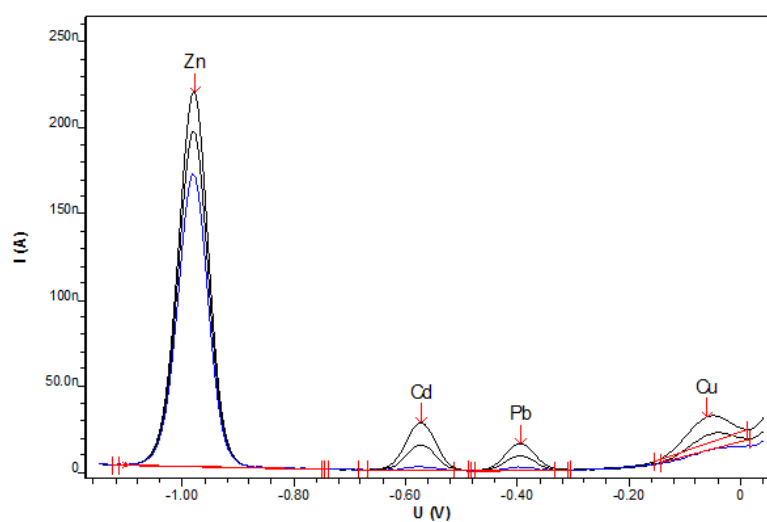


Figure 26 : polar gramme de l'échantillon de Beniboublene

Matériels et Méthodes

➤ Méthode utilisée :

C'est la méthode de dosage par addition qui se déroule en deux étapes, dans un premier temps, les ions métalliques tels que le zinc, le cadmium, le plomb, le cuivre présent dans la solution d'essai se déposent sur la surface de l'électrode de mercure, Dans la deuxième étape, tous les ions déposés sont décapés anodiquement par balayage de la gamme de potentiel. La procédure a été répétée trois fois et le courant a été mesuré. Après, la courbe d'extrapolation des mesures a été tracée entre le courant et la concentration. La courbe d'extrapolation indique la quantité de métaux présents dans la solution de l'échantillon.

Le traitement des résultats par ordinateur nous a permis à tracer les courbes de dosage pour les 04 ions métalliques :

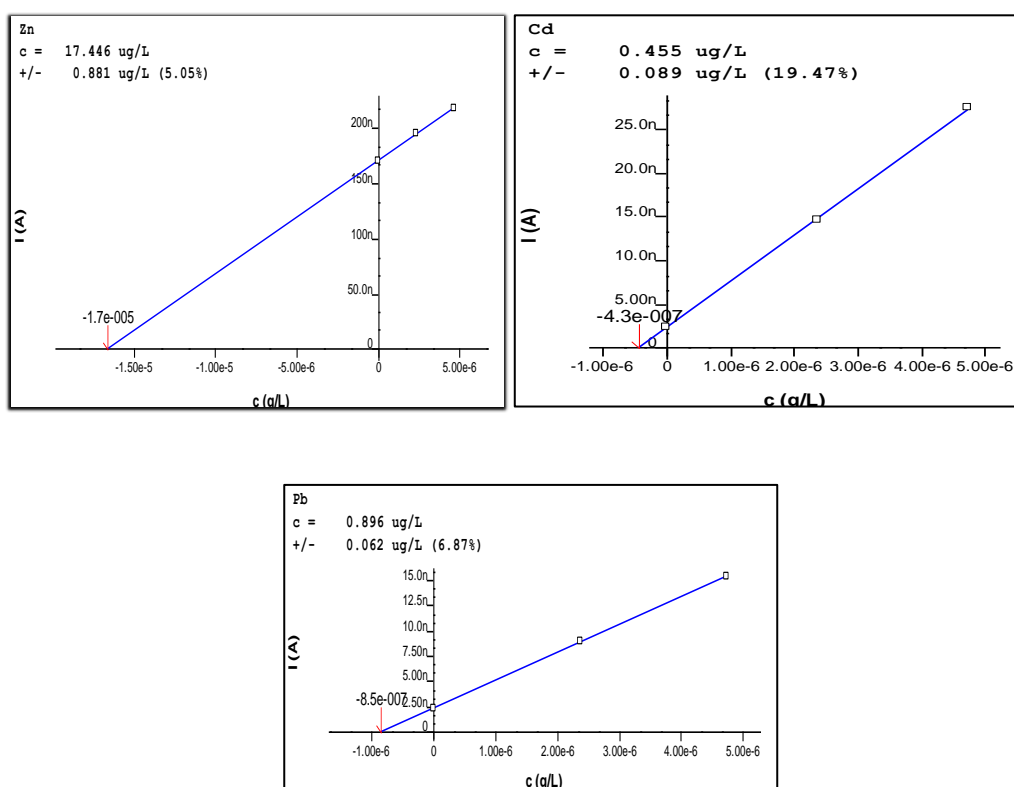


Figure 27; les droites d'étalonnage pour les quatre ions métalliques (Zn, Cd, Pb et Cu)

6. Enquête sur la consommation d'eau de source dans la wilaya de Tlemcen :

➤ **Type d'étude :**

C'est une étude transversale descriptive, réalisée sur une durée de 7 mois de début janvier au fin juillet 2020.

➤ **Population d'étude :**

Notre étude a porté sur une population prise au hasard, habitant dans la wilaya de Tlemcen. Ayant accepté de participer à l'étude.

➤ **Critères d'inclusion :**

Ont été inclus dans l'étude :

- Les sujets adultes (âge > 16 ans).
- Des deux sexes.
- ayant consenti librement d'y participer.

➤ **Critères de non inclusion :**

- Sujet de moins de 16 ans

➤ **Critères d'exclusion :**

- Les questionnaires mal remplis

➤ **Recueil des données :**

Le recueil des données a été fait à l'aide d'un questionnaire élaboré préalablement.

La rédaction du questionnaire est en langue française, composé de 15 questions où le participant était amené à choisir parmi des propositions données, ou à remplir l'information directement sur le questionnaire, en respectant l'anonymat des sujets participants. Ce questionnaire a inclus des

Des informations sociodémographiques du consommateur (sexe, âge, niveau intellectuel...), des informations sur la consommation des eaux de sources.

Le questionnaire a été élaboré via google et diffusé via les réseaux sociaux (Facebook) afin d'avoir de la diversité dans la population.

☆ docs.google.com

Enquête sur la consommation d'eau de source dans la wilaya de Tlemcen

Dans le cadre d'une étude sur le taux des métaux lourds dans l'eau souterraine, nous vous prions de bien vouloir répondre à ce petit questionnaire afin de nous aider à mieux comprendre les habitudes alimentaires des habitants de la wilaya de Tlemcen.

Age

Votre réponse

Sexe

Femme

Homme

Figure 26 : questionnaire

6.1. Saisie et analyse des données :

Toutes les informations recueillies à partir des questionnaires ont été rapportées et analysées au logiciel SPSS 23« Statistique Package for the Social Sciences » et le logiciel Microsoft Excel 2010.

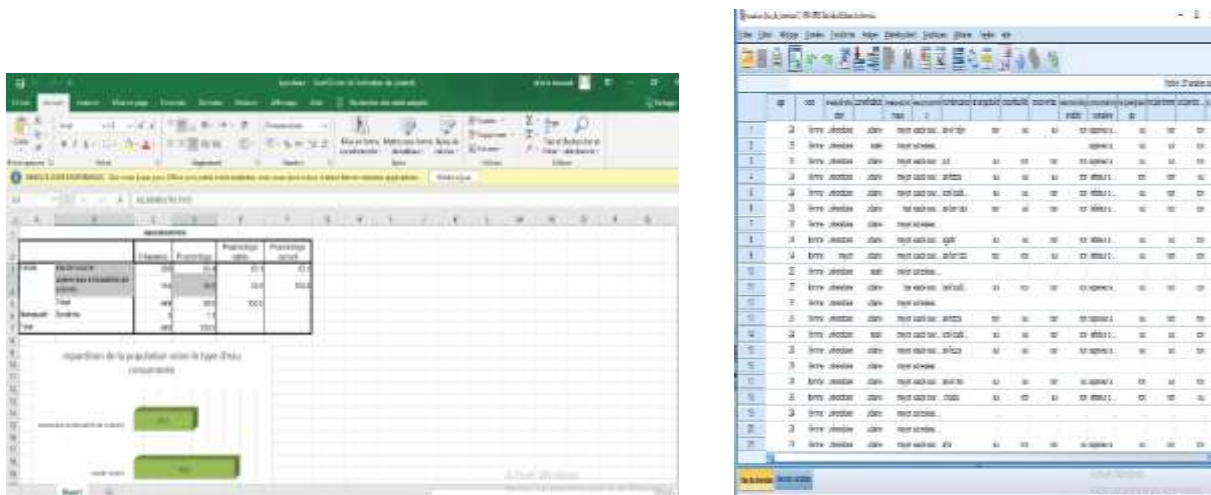


Figure 27 : Logiciels d'informatique

Résultats

1. Critères de jugements :

Eaux de source non embouteillées suit :

- Les mêmes normes que l'eau destinée à la consommation humaine fixés dans le JORADP N° 13 correspond au 09 mars 2014.
- Les normes fixés par l'OMS 2006

Partie I : l'analyse physico-chimique des sources analysées :

1.1. Résultats de pH :

Nom de la source	pH
Attar	7,055
Beniboublene	7,38
Ain el hdjer	7,024
Ain el hout	7,04
Ain mazouta	7,09
SIDI SAID	7.23
BOUDJLIDA	7.17
Norme algérienne JORA 2014	$\geq 6,5$ et ≤ 9

Tableau VIII : Valeurs du pH mesurées dans laboratoire

Les valeurs de pH varient de 7,024 à 7,38.

Les 07 sources d'eaux présentées dans le tableau respectent l'intervalle fixé par la réglementation Algérienne.

1.2. Résultats de conductivité :

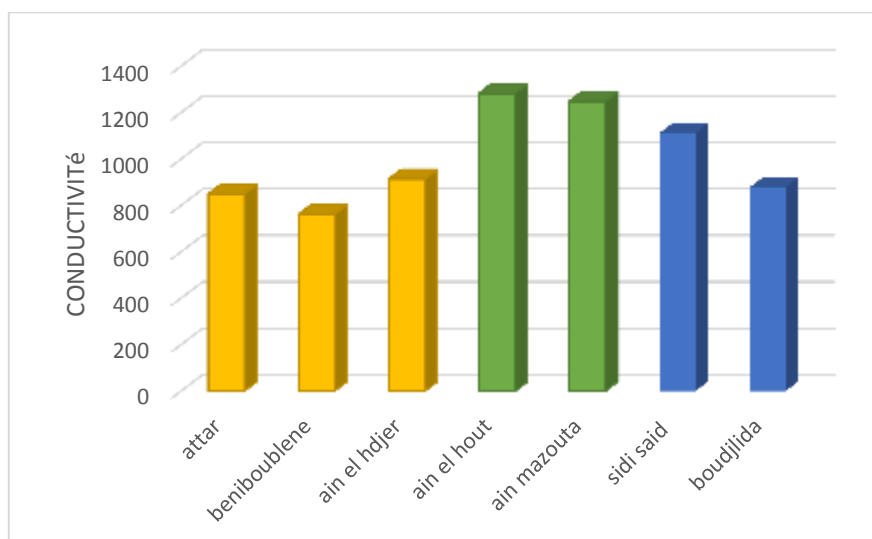


Figure 28: Valeurs de la conductivité des sources analysées

Les valeurs de la conductivité varient de 761 μS/cm à 1282

La réglementation algérienne fixe la norme de 2800 μS/cm. Pour la conductivité électrique.

Toutes les sources présentées dans le tableau respectent la norme Algérienne.

1.3. Les concentrations des éléments en traces métalliques (ETM) des sources d'eaux analysées :

Les résultats des 04 ETM étudiés (Zn, Cd, Pb et Cu) obtenus après leurs dosages par la polarographie sont montrés dans le tableau suivant :

Tableau IX : les résultats des quatre éléments métalliques

	Zn (μg/L)	Cd(μg/L)	Pb(μg/L)	Cu(μg/L)
Boujlida	5,99	0,212	0,732	0,75
Sidi Saïd	330	2,66	7,74	4
Attar	2,92	2,051	2,537	1,898
Beniboublene	17,44	0,45	0,896	1,428
Ain el hdjer	1,861	0,065	0,574	1,96
Ain el hout	3,458	0,3	0,9	0,68
Ain mazouta	2,40	0,422	1,35	0,732

Résultats

Normes JORA 2014	5000	3	10	2000
Les normes OMS	3000	3	10	2000

D'après le tableau précédent aucun élément dépasse les normes fixées par la réglementation algérienne et l'OMS.

2. Partie II : Enquête sur la consommation d'eau de source dans la wilaya de Tlemcen

Le nombre total des enquêtés est de 449.

Le nombre réel de la population est 360.

2.1. Description de la population d'étude :

2.1.1. Le sexe :



Figure 29: Répartition de la population selon le sexe.

Notre population est à prédominance féminine. Elle est constituée de (63%) femmes et (37%) hommes avec un sexe ratio de 0.58

2.1.2. Les tranches d'âge :

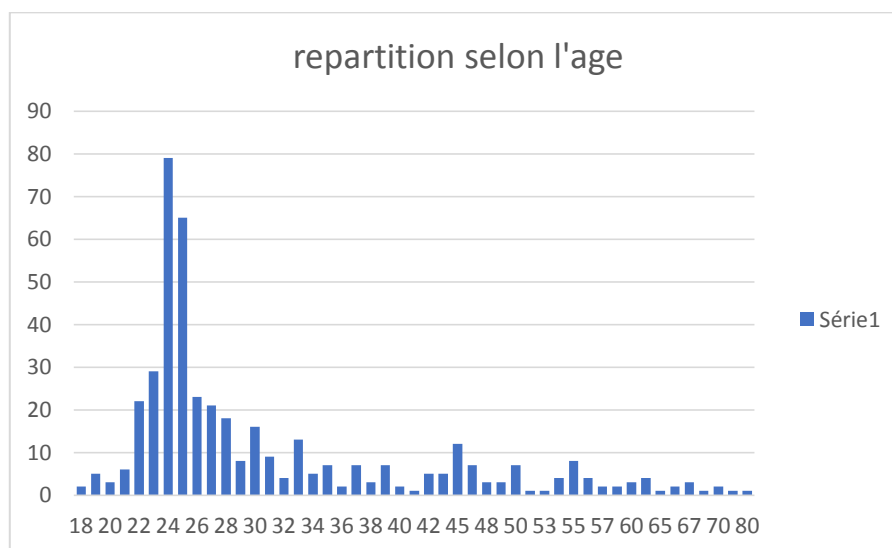


Figure 30 : Répartition de la population selon les catégories d'âge

L'âge des participants varie de 18 à 80ans, la tranche d'âge dominante dans notre population est celle des jeunes adultes (24-26).

2.1.3. Niveau d'instruction :

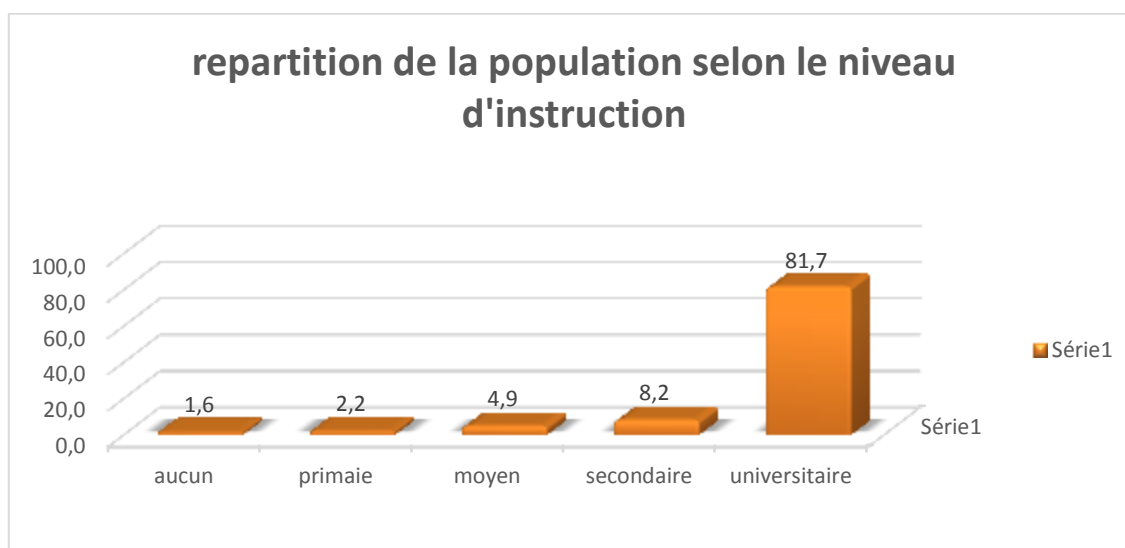


Figure 31: Répartition de la population selon le niveau d'instruction

La majorité des enquêtés ont un niveau d'instruction universitaire (81.7%) tandis que seulement (1.6%) sont analphabètes.

2.1.4. Le niveau économique :

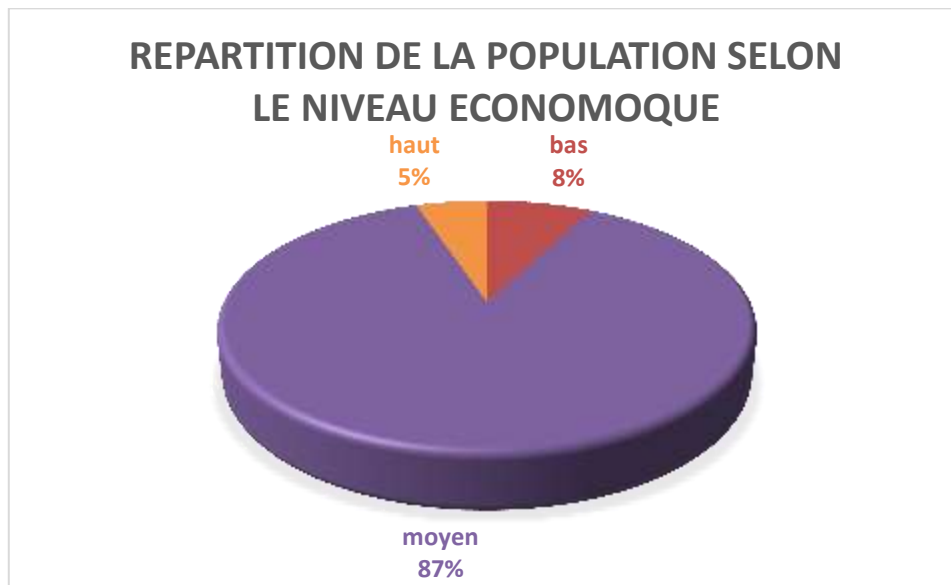


Figure 32: Répartition de la population selon le niveau économique

Le niveau économique de notre population est moyen et représente (87%).

2.1.5. Zone d'habitat :

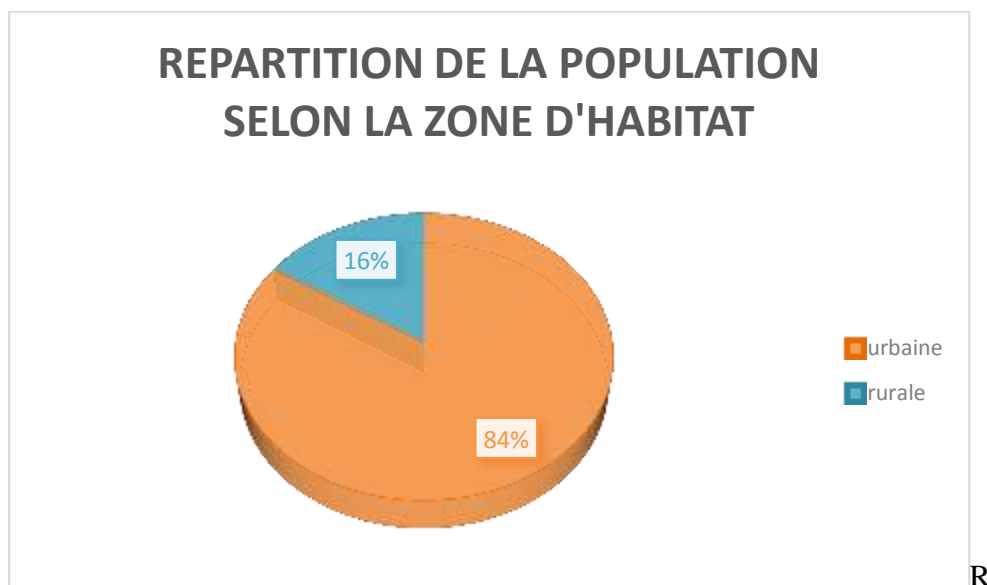


Figure 33: Répartition de la population selon la zone d'habitat

Une prédominance de la zone urbaine avec 84 %.

2.1.6. Type d'eau consommé :

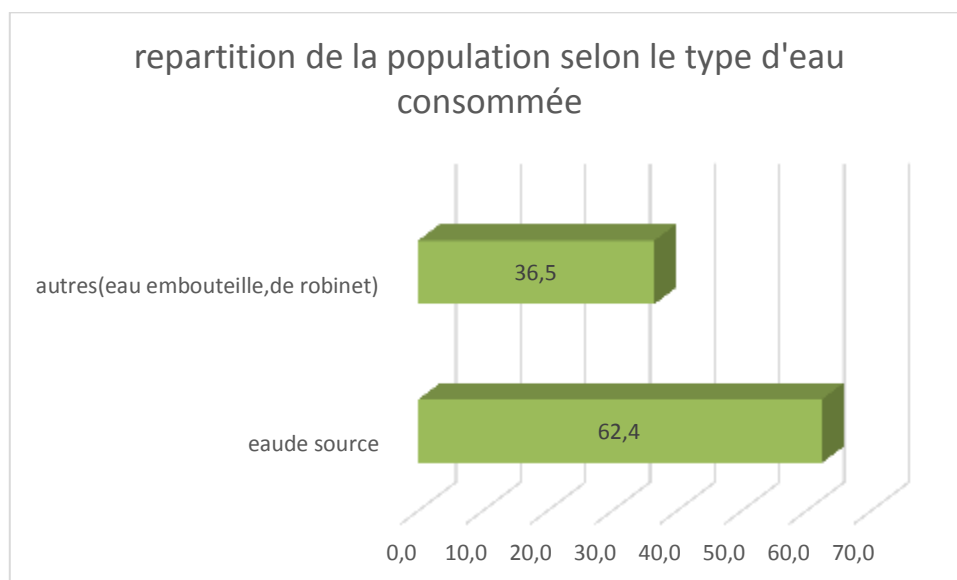


Figure 34 : Répartition de la population selon le type d'eau consommé

Dans notre population d'étude, le type d'eau principalement consommé est l'eau de source (62.4%) par rapport aux autres (36.5%).

2.1.7. L'eau de source la plus consommée :

Nom de source	Fréquence	Pourcentage (%)
Benibahdel	1	0,2
Boudjlida	1	0,2
Chlaida	5	1,1
Agadir	1	0,2
Ahfir	1	0,2
Ain ben sari	2	0,4
Ain ben tata	23	5,1
Ain bentaghla	1	0,2
Ain el hdjer	26	5,8
Ain el hout	13	2,9
Ain el kiffan	11	2,4
Ain el mizan	1	0,2
Ain el nedjar	1	0,2
Ain el tinn	1	0,2

Résultats

Ain fezza	8	1,8
Ain kabli	1	0,2
Ain karaja	1	0,2
Ain kbira	1	0,2
Ain kerat	2	0,4
Ain mazouta.	2	0,4
Ain sefra. Chetouane	1	0,2
Ain sidi Ali	3	0,7
Ain sidi boushak	2	0,4
Ain tasouban souk el khmiss,	1	0,2
Attar	23	5,1
Beni boublene	27	6,0
Beni bousaid meghnia	1	0,2
Beni ghanam	1	0,2
Beni snous	2	0,4
Benibahdel	1	0,2
Birouana	1	0,2
Bouguleze	1	0,2
Chlaida	6	1,3
El -attouch	1	0,2
El guentra	1	0,2
Guerioune	1	0,2
Hammam boughrara	1	0,2
Jibouti	7	1,6
Maliha	1	0,2
Mansourah	4	0,9
Mefrouch /affidintilimsani	1	0,2
Mosquée benimestar	1	0,2
Mosquée bouhanak	4	0,9
Mosquée	2	0,4

Résultats

sabriremchi		
Mosquée sidi said	1	0,2
Ourit	1	0,2
Plusieurs	2	0,4
Puit	29	6,5
Sidi Abderrahmane (nedrouma)	1	0,2
Sidi boumedien	5	1,1
Sidi el haloui	1	0,2
Sidi hfif	8	1,8
Sidi mdjahed	10	2,2
Sondage boudghene	1	0,2
Tirni	1	0,2
Total	449	100,0

Dans notre population, l'eau de source la plus consommée est Ain Beniboublene (6%) suivie par Ain el hdjer (5.8 %). Le nombre de sources est 48.

2.1.8. les raisons d'utilisation des eaux de sources :



Figure 35 : répartition selon la gratuité



Figure 36 : répartition selon la facilité

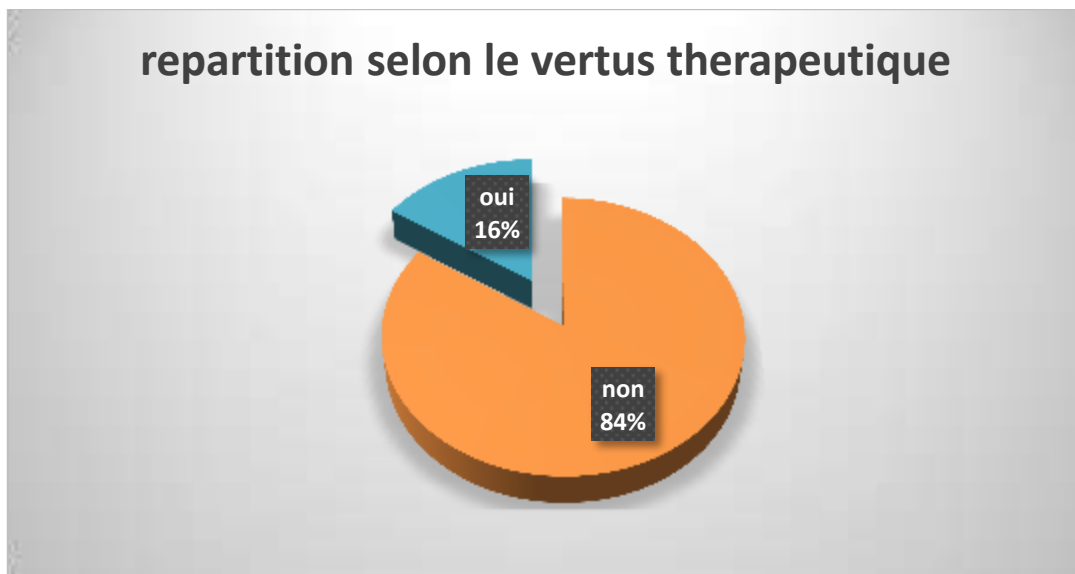


Figure 37 : répartition selon le vertus therapeutique



Figure 38 : répartition selon l'indisponibilité des autres sources

Dans notre population d'étude 50% des enquêtés consomment l'eau de source parce qu'elle est facile à exploiter .58 % pour la gratuité

2.1.9. La consommation journalière :

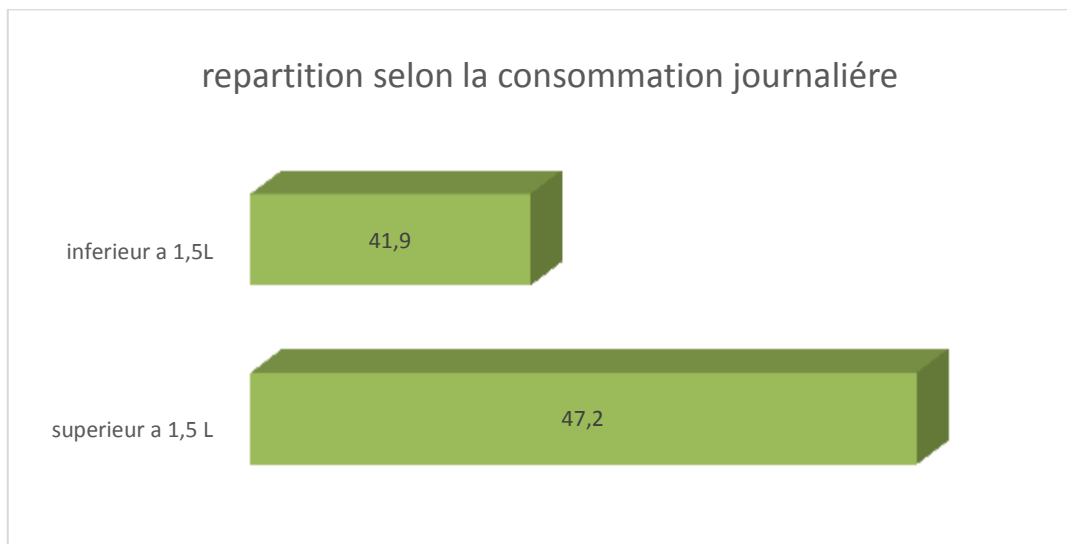


Figure 39 : la consommation journalière des eaux souterraines

2.1.10. Récipient de conservation de l'eau :



Figure 40 : Répartition de la population selon la nature des récipients utilisés pour la conservation de l'eau

La plupart des participants (77%) utilise des récipients en plastique pour la conservation de l'eau.

2.1.11. L'utilisation de l'eau de source :



Figure 41 : Répartition de la population selon l'utilisation de l'eau de source.

2.1.12. la période de consommation :

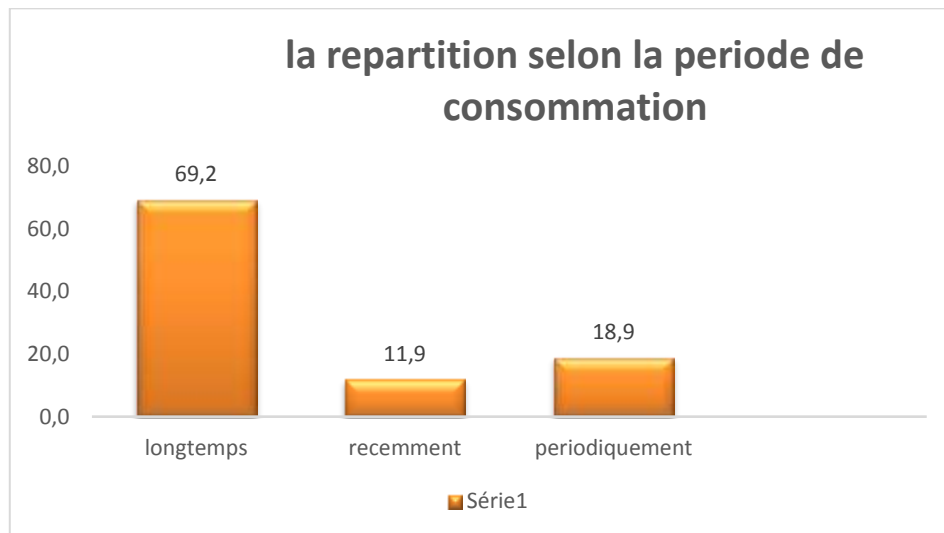


Figure 42: Répartition de la population selon la période de consommation

2.1.13. L'application d'un prétraitement :



Figure 43: Répartition de la population selon l'application de prétraitement

La majorité de notre population n'applique aucun prétraitement à l'eau (89%)

2.1.14. Le type de prétraitement appliqué :

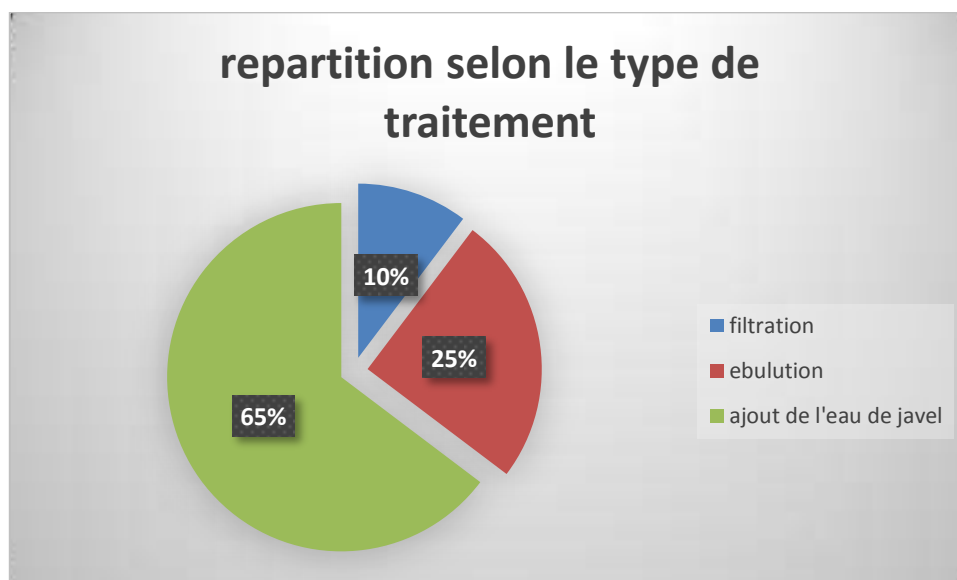


Figure 44 : Répartition de la population selon le type de prétraitement

Parmi les 11% des enquêtés qui appliquent un prétraitement à l'eau, plus que la moitié utilise l'eau de Javel, suivi par l'ébullition (25%).

2.1.15. La notion d'hygiène :

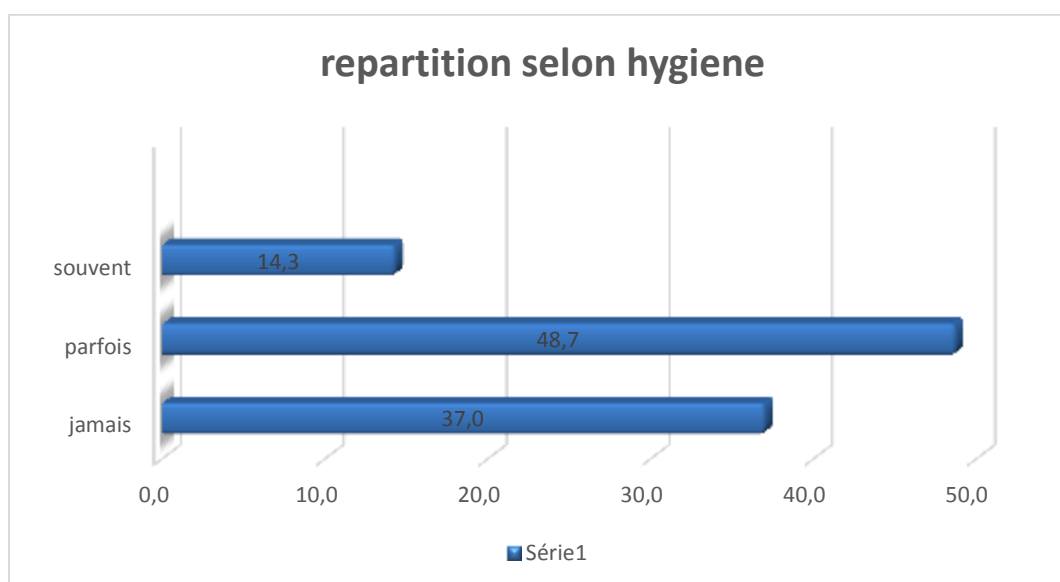


Figure 45 : Répartition de la population selon la notion d'hygiène

Un nombre important des enquêtés doutent de la qualité hygiénique de l'eau de source consommée (48.7% parfois ;14.3% souvent)

Discussion

1. Les limites d'étude :

Cette étude a été confrontée à de nombreuses limites sans lesquelles le présent travail aurait été plus complet et plus global. Parmi ces contraintes :

➤ **Pour l'analyse physicochimique :**

- La réalisation de l'analyse sur un seul échantillon au lieu de trois échantillons.
- Le nombre limité de paramètres physico-chimiques analysées.
- La durée limitée consacrée à l'analyse de l'ensemble des paramètres chimiques vue les circonstances de la crise sanitaire COVID 19 qui venue tout bousculer.

➤ **Pour le questionnaire :**

La difficulté d'entretenir directement avec tous les participants lors de la distribution du questionnaire nous a mené à recevoir des questionnaires mal ou pas entièrement remplis, ce qui nous a posé des difficultés au moment de la saisie et de l'exploitation des données

Le choix des sources analysées dépend de 02 critères :

- ✓ La cohérence entre le questionnaire distribué et la partie pratique.
- ✓ Le balayage de la région de Tlemcen en choisissant des emplacements différents

PARTIE I : L'analyse physicochimique d'eaux de sources.

➤ **pH :**

Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau.

La réglementation Algérienne fixe un intervalle de pH allant de 6.5 à 9.

Toutes les eaux de source étudiées se trouvent dans cet intervalle.

Donc le pH ne présente aucun impact sur la santé du consommateur aux concentrations relevées dans l'eau³

➤ **Conductivité électrique :**

La mesure de la conductivité permet d'apprécier la qualité des sels dissous dans l'eau.

La réglementation Algérienne fixe une norme de 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la conductivité électrique. On constate que toutes les eaux de sources analysées sont dans les normes.

³(57)

Discussion

Selon la classification des eaux en fonction de la conductivité (annexe II), les eaux de source étudiées présentent des minéralisations variables :

Minéralisations importantes pour la source Attar, beniboublene, Ain el hdjer voir élevée pour Ain el hout et mazouta. Ce qui les confèrent de vertus pour la santé (Les bicarbonates: Indiqués dans les lithiases uriques, Les sulfates Accélèrent le transit intestinal et sont donc indiqués dans les cas de constipations primitives, Le calcium: Lutte contre l'ostéoporose, le rachitisme, les crampes, les palpitations, la fragilité des ongles et des cheveux et la carie dentaire, Le sodium : stimule le péristaltisme intestinal, Le potassium : agit sur la contraction musculaire, et il est indiqué en cas de faiblesse cardiaque, Le phosphore : protège les dents, stimule la mémoire et facilite l'élimination rénale..) ⁴⁵

Cette mesure est cependant incomplète car elle n'intègre pas le type de minéraux apportés (les teneurs des constituants ioniques de l'eau : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+)

➤ **Les ions métalliques (Zn, Cd, Pb et Cu) :**

➤ **Zinc (Zn) :**

Les résultats des 07 sources échantillonnées illustré dans le tableau révèlent des concentrations variables du zinc qui oscille entre 1,861 $\mu\text{g/L}$ et 330 $\mu\text{g/L}$ dont la valeur maximale est enregistrée à sidi Saïd et la valeur minimale est enregistrée à Ain el hdjer.

Ces concentrations sont conformes à la valeur admissible par les normes algériennes (JORA 2014) qui est de 5000 $\mu\text{g/L}$ et 3000 $\mu\text{g/L}$ pour les normes de l'OMS.

➤ **Cadmium (Cd) :**

Les résultats illustrés dans le tableau révèlent des concentrations variables du cadmium. Les teneurs en Cd contenus dans les sources échantillonnées varient entre 0,065 $\mu\text{g/L}$ et 2,66 $\mu\text{g/L}$ dont la valeur maximale est enregistrée à sidi Saïd et la valeur minimale à Ain el hdjer.

Ces concentrations sont conformes à la valeur admissible par les normes algériennes (JORA 2014) ainsi que la norme de l'OMS qui est de 3 $\mu\text{g/L}$.

➤ **Plomb (Pb) :**

D'après les résultats effectués, les teneurs oscillent entre 0,574 $\mu\text{g/L}$ et 7,74 $\mu\text{g/L}$ dont la valeur maximale est enregistrée à sidi Saïd et la valeur minimale est enregistrée à Ain el hdjer.

⁴(58)

⁵(59)

Discussion

Ces concentrations sont conformes à la valeur admissible par les normes algériennes (JORA 2014) ainsi que la norme de l'OMS qui est de 10 µg/L.

➤ **Cuivre (Cu) :**

Les concentrations du cuivre varient entre 0,68 µg/L et 4 µg/L dont la valeur maximale est enregistrée à sidi Saïd et la valeur minimale est enregistrée à Ain el hout.

Ces concentrations sont conformes à la valeur admissible par les normes algériennes (JORA 2014) ainsi que la norme de l'OMS qui est de 2000µg/L.

A travers les résultats données, nous constatons que les teneurs de métaux analysés sont conformes aux normes exigées par la réglementation algérienne 2014 ainsi que l'OMS.

Les teneurs maximales des ETM retrouvées dans l'eau de sidi Saïd peuvent provenir de certaines composantes du système de distribution (tuyauterie, réservoir)

➤ **Méthode de dosage : polarographie**

La technique de dosage par polarographie est considérée comme une Technique simple, sélective et peu coûteuse pour détermination quantitative et qualitative des métaux et elle a des limites de détection extrêmement basses et peut fonctionner également en présence de fortes concentrations de sel....

Elle s'agit d'une réussite, d'une nouveauté, d'une rapidité,

Partie II : Enquête sur la consommation d'eau de source dans la wilaya de Tlemcen

- La consommation prédominante de l'eau de source par rapport aux autres types d'eaux dans notre population d'étude a été expliquée par : la gratuité et la facilité de procuration, le niveau économique moyen de la majorité de la population étudiée, car la plupart ne peuvent pas se permettre de s'en procurer de l'eau embouteillée tous les jours et même la méfiance des consommateurs de l'eau du robinet dont l'origine et le parcours leur paraissent obscurs.
- La pureté, absence de contamination souterraine sont les raisons évoquées pour les enquêtés pour la non-application des prétraitements alors que la minorité utilise l'eau de javel comme premier choix de traitement car on sait qu'elle élimine de manière simple et peu coûteuse la plupart des germes responsables des maladies. Le deuxième prétraitement est l'ébullition, qui est depuis longtemps efficace pour tuer les agents pathogènes.

Discussion

En effet, plusieurs études ont montré qu'il faut se méfier de certaines sources souterraines car elles ne respectent pas les normes physico-chimiques de potabilité fixées par la réglementation et manquent de surveillance par les autorités locales ainsi Il serait intéressant de préciser que ces traitements n'agissent que sur les contaminants microbiologiques

- Selon les résultats trouvés lors de notre enquête analytique, de nombreuses sources d'eaux sont exploitées par la population dans la région de Tlemcen (48 sources). Cela insiste sur la nécessité de mener des analyses continues de ces sources afin d'éviter des catastrophes sanitaires pour la communauté d'une part et d'autres part pour préserver la qualité de ces eaux souterraines.
- **Argile et l'absorption**

Il existe une propriété particulière qui caractérise les solides poreux en général et les argiles en particulier. Cette propriété, est la capacité d'adsorber les métaux lourds ainsi que les substances organiques contenus dans des solutions aqueuses⁶

⁶(60)

Conclusion

Conclusion

L'eau est essentielle à la vie sur terre, c'est le composant majoritaire du corps humain et elle a bénéficié d'un statut sacré dans de nombreuses civilisations. Cependant, l'eau a également été le vecteur de nombreuses maladies, qui ont été et qui sont encore aujourd'hui, dans certaines parties du monde à l'origine d'importantes épidémies humaines ou animales. Les premières grandes avancées sanitaires sont associées à un contrôle de l'eau de consommation et à la distribution d'eau de bonne qualité pour les usages d'hygiène corporelle et alimentaires

Le travail présenté dans ce mémoire est une évaluation de la concentration des métaux lourds (Zn, Cd, Pb et Cu) dans certaines eaux souterraines dans la région de Tlemcen. Pour cela un ensemble d'analyses de paramètres physico-chimiques ont été mené sur un certain nombre d'échantillons. Nous avons aussi distribué un questionnaire afin de connaître les mœurs alimentaires concernant l'eau de source dans la wilaya de Tlemcen.

Nos résultats expérimentaux ont montré que :

- Les eaux de sources analysées ont une minéralisation importante voir élevée
- Les teneurs des métaux lourds analysées (Zn, Cd, Pb, Cu) restent minimales dans tous les échantillons étudiés et satisfont pleinement aux exigences requises par la réglementation algérienne ainsi que l'OMS pour l'eau de boisson.

Ces résultats ne nous ont pas permis de tirer des conclusions quant à la qualité réelle de l'eau des sources analysées, au contraire, ils nous ont motivé à approfondir l'analyse en la complétant par le dosage des paramètres microbiologiques et les autres paramètres physico-chimiques fixés par la réglementation.

Enfin, nous recommandons une surveillance accrue ponctuelle, rigoureuse et régulière de cette matière sensible gérée par la direction des ressources en eaux avec une base de données sur les caractéristiques de l'aquifère, les paramètres à surveiller, les normes et fréquences de surveillance dans le but de préserver la qualité des eaux souterraines, assurer la disponibilité de la ressource pour éviter son surexploitation et tout type possible de contaminations.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

1. collin jaques. l'eau le miracle oblié. GUY trédaniel _paris.
2. É M-G. La construction sociale de la ressource en eau. In 2010.
3. agathe,yves euzen levi. tout savoir sur l'eau du robinet. CNRS edition. 2013.
4. pourquoi faut il boire de l'eau ? pourquoi maintenir la balanse hydrique. cahier de nutritions et de dietetiques (2009) .190-197 disponible sur sciencedirect.com.
5. BOUZID-LAGHA ,souaad. Approches géomantiques des problématiques des espaces vulnérables aux risques naturels et environnementaux : pollutions des eaux, inondations, sécheresses et surexploitations des milieux.
6. L'eau potable : sa définition, ses origines, ses critères de potabilité et ses traitements [Internet]. Centre d'Information sur l'eau. [cité 10 nov 2019]. Disponible sur: <https://www.cieau.com/espace-enseignants-et-jeunes/les-enfants-et-si-on-en-apprenait-plus-sur-leau-du-robinet/la-definition-de-leau-potable/>
7. LEO.M.L.NOLLET. Handbook of water analysis.
8. Notions élémentaires sur l'eau : le cycle hydrologique - Canada.ca [Internet]. [cité 9 déc 2019]. Disponible sur: <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/eau-aperçu/notions-elementaires/cycle-hydrologique.html>
9. Government of Canada E and CCC. Environment and Climate Change Canada - Water - The Hydrologic Cycle [Internet]. 2007 [cité 20 nov 2019]. Disponible sur: <https://ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=En&n=23CEC266-0>
10. memento technique de l'eau. dixième édition .tome1. lavoisier;
11. Eau - Observatoire de l'Environnement en Poitou-Charentes (ORE) [Internet]. [cité 6 janv 2020]. Disponible sur: <http://www.observatoire-environnement.org/+Eau-.html>
12. Généralités - l'Environnement en Poitou-Charentes [Internet]. [cité 2 févr 2020]. Disponible sur: <http://www.environnement-poitou-charentes.org/Generalites,3857.html>
13. Mokhtar Bensekri . Données De Base Sur Les Ressources En Eau Dans La Région Maghrébine. 2017;Volume 4, Numéro 2, Pages 269-288.

Références Bibliographiques

14. OMS | Eau et santé [Internet]. WHO. [cité 8 janv 2020]. Disponible sur: <https://www.who.int/globalchange/ecosystems/water/fr/>
15. Les impacts et les conséquences de la pollution de l'eau - l'Environnement en Poitou-Charentes [Internet]. [cité 12 janv 2020]. Disponible sur: <http://www.environnement-poitou-charentes.org/-Les-impacts-et-les-consequences-de-.html#autepu>
16. graindorge ;landot joel;eric. la qualité de l'eau potable (techniques et responsabilités). territorial;
17. Schéma d'une nappe phréatique [Internet]. Disponible sur: <http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/eaux.souterraines.html>
18. Schéma expliquant la différence entre une nappe phréatique et une nappe captive [Internet]. Disponible sur: <https://sagegti.vosges.fr/les-gti/-les-differents-types-de-nappe>
19. Nappe libre ou captive? A.Gutierrez. - ppt video online télécharger [Internet]. [cité 12 mars 2020]. Disponible sur: <https://slideplayer.fr/slide/3537528/>
20. Qu'est-ce que les Eaux Souterraines? | IGRAC [Internet]. [cité 11 oct 2019]. Disponible sur: <https://www.un-igrac.org/fr/quest-ce-que-les-eaux-souterraines>
21. Puis-je boire l'eau d'un lac ? - Municipalité de Saint-Élie-de-Caxton [Internet]. Municipalité de Saint-Élie de Caxton. [cité 19 oct 2020]. Disponible sur: <https://www.st-elie-de-caxton.ca/milieu-riverain-et-environnement/informations/autres-informations/puis-je-boire-leau-du-lac>
22. pollution littorale [Internet]. 2003 [cité 7 janv 2020]. Disponible sur: <https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge/pol-litt/pol-litt.htm>
23. phellippe beaulieu;benedicte fisset. eau de robinet :une exigence de qualité. elsevier masson 2009 cahier de nutrition et de dietitique et;
24. Des Jardines R. Le traitement des eaux. 2 éme édition revue et enrichie.
25. journal officiel de la republique algerienne. 27 janv 2015;

Références Bibliographiques

26. Les eaux minérales naturelles [Internet]. Encyclopédie de l'environnement. 2017 [cité 14 déc 2019]. Disponible sur: <https://www.encyclopedie-environnement.org/eau/eaux-minerales-naturelles/>
27. Eau minérale, eau du robinet et eau de source, quelles différences ? [Internet]. Maison des Eaux Minérales Naturelles. [cité 13 mars 2020]. Disponible sur: <https://eaumineralenaturelle.fr/qualite/qualite-de-leau-minerale>
28. blanchard .de la faille AR. métabolisme de l'eau normale et pathologique. Elsevier masson 2010;
29. Hartemen, Montiel P A. pollution des eaux. ELSEVIER MASSON 2011;
30. (PDF) POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES PAR LES METAUX LOURDS ET LEUR IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT : CAS DE L'AQUIFERE SUPERFICIEL DU CHAMP DE CAPTAGE INTENSIF DE GODOMEY AU SUD-BENIN [Internet]. ResearchGate. 2015 [cité 7 oct 2019]. Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/310606858_POLLUTION_DES_EAUX_SOUTERRAINES_PAR_LES_METAUX_LOURDS_ET_LEUR_IMPACT_SUR_L'ENVIRONNEMENT_CAS_DE_L'AQUIFERE_SUPERFICIEL_DU_CHAMP_DE_CAPTAGE_INTENSIF_DE_GODOMEY_AU_SUD-BENIN
31. Vilaginès R. eau , environnement et santé publique. Ed. Tec & Doc; 2010. paris;
32. david,larry k todd w mays. groundwater hydrology. ,third edition. WILEY INTERNATIONAL EDITION; 636 p.
33. FAO - Nouvelles: Les polluants issus de l'agriculture représentent une menace sérieuse pour l'eau du monde entier [Internet]. 2018 [cité 11 janv 2020]. Disponible sur: <http://www.fao.org/news/story/fr/item/1141801/icode/>
34. Le complexe argilo-humique (CAH) [Internet]. agronomie. 2016 [cité 11 janv 2020]. Disponible sur: <https://agronomie.info/fr/complexe-argilo-humique-cah/>
35. EAU ET ENVIRONNEMENT [Internet]. [cité 8 oct 2019]. Disponible sur: <https://www.u-picardie.fr/beauchamp/>
36. Cécile Michaut. Quand les plantes nous aident à lutter contre la pollution. 2019.

Références Bibliographiques

37. Sylvain CHAILLOU, Jérôme COMBRISSE. BIODÉPOLLUTION, La biodépollution de l'eau - Encyclopædia Universalis [Internet]. [cité 11 janv 2020]. Disponible sur: <https://www.universalis.fr/encyclopedie/biodepollution/2-la-biodepollution-de-l-eau/>
38. OMS | Maladies liées à l'eau [Internet]. WHO. [cité 11 janv 2020]. Disponible sur: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/fr/
39. Eau polluée : quels sont les dangers pour la santé ? [Internet]. consoGlobe. 2010 [cité 12 janv 2020]. Disponible sur: <https://www.consoglobe.com/eau-polluee-dangers-sante-4362-cg>
40. Quels sont les effets de la pollution de l'eau sur la biodiversité ? - Site internet de la cité scolaire François Jean Armorin [Internet]. [cité 12 janv 2020]. Disponible sur: <http://www.ac-grenoble.fr/armorin.crest/beespip3/spip.php?article2167>
41. zeghid kamal. cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines karstiques cas du bassin versant du mefrouche. 2013.
42. dec-83-724.pdf [Internet]. [cité 15 mars 2020]. Disponible sur: <https://www.ogef.dz/pdf/files/dec-83-724.pdf>
43. sferdjili fouzia. les périmètres de protection des ouvrages de captage des eaux souterraines étude bibliographique et étude de cas. 2015.
44. Les métaux lourds ou éléments traces métalliques - notre-planete.info [Internet]. [cité 7 oct 2019]. Disponible sur: https://www.notre-planete.info/environnement/metaux_lourds.php
45. Les métaux lourds – la synthèse de l'ASEF – Association Santé Environnement France [Internet]. [cité 24 nov 2019]. Disponible sur: <http://www.asef-asso.fr/production/les-metaux-lourds-la-synthese-de-lasef/>
46. graindorge joel. guide des analyses de la qualité de l'eau. temitorial .janvier 2018;
47. legube bernard. production d'eau potable (filieres et procédés de traitement). Dunod,2015.

Références Bibliographiques

48. Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4e éd. intégrant le premier additif [Guidelines for drinking-water quality: 4th ed. incorporating first addendum] ISBN 978-92-4-254995-9 © Organisation mondiale de la Santé 2017. QUATRIÈME ÉDITION.
49. Jean RODIER Bernard LEGUBE, Nicole MERLET et coll. L'Analyse de l'eau 9e édition Entièrement mise à jour.
50. Zinc, propriétés chimiques, effets sur la santé et l'environnement [Internet]. [cité 5 sept 2020]. Disponible sur: <https://www.lenntech.fr/francais/data-perio/zn.htm>
51. Zinc : rôle, bienfaits, dosage, aliments [Internet]. [cité 5 sept 2020]. Disponible sur: <https://sante.journaldesfemmes.fr/fiches-sante-du-quotidien/2615495-zinc-role-bienfaits-dosage-aliments/>
52. journal officiel de la republique algerienne. 9 mars 2014;
53. Cuivre, propriétés chimiques, effets sur la santé et l'environnement [Internet]. [cité 5 sept 2020]. Disponible sur: <https://www.lenntech.fr/data-perio/cu.htm>
54. Cuivre - Rôles, besoins et sources alimentaires - Doctissimo [Internet]. [cité 5 sept 2020]. Disponible sur: https://www.doctissimo.fr/html/nutrition/vitamines_mineraux/cuivre.htm
55. carlos J. etude et developpement de la spectroscopie d'emission optique sur plasma induit par laser pour la realisation d'analyses de terrain : application a l'analyse en ligne de metaux dans les liquides. [paris-france]; 2013.
56. Cedric H. optimisation et validation de deux methodes de dosage dans le cadre de la mise au point d'un dispositif intra-utérin a liberation hormonale controlée memoire présenté en vue de l'obtention du D.E.A. 2006.
57. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique – le pH - Canada.ca [Internet]. [cité 11 oct 2020]. Disponible sur: <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/publications/vie-saine/recommandations-pour-qualite-eau-potable-canada-document-technique-ph-eau-potable.html#a8>

Références Bibliographiques

58. RIO ,B. L'eau et la vie. 2006.
59. Squalli Houssaini, Benzakour K. les eaux en bouteille au maroc :choix du nephrologue. 2010.
60. Melle DJEFFAL Lemya. Elimination, par adsorption sur argile locale, des ions métalliques contenus dans les eaux de rejet industriel de la région de Annaba. 2007
2008.

Annexes

Annexe I : Questionnaire

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

UNIVERSITE ABOU

BEKR

FACULTE DE MEDECINE



Enquête sur les habitudes alimentaires concernant l'eau de source dans la
wilaya de Tlemcen

- Age :
- Sexe : Femme Homme
- Région :
- Niveau d'instruction :
 1. Analphabète
 2. Primaire
 3. Moyen
 4. Secondaire
 5. Universitaire
- Niveau économique :
 1. Bas
 2. Moyen
 3. Haut
- Quel type d'eau consommez-vous principalement :
 1. Eau de source
 2. Autres (Eau embouteillés, de robinet...)

- **Consommation de l'eau journalière :**

1. Supérieure à 1.5 Litre
2. Inférieure à 1.5 Litre
3. Egale à 1 Litre

- **Récipient de conservation :**

1. Plastique
2. Verre
3. Argile

- **Si eau de source :**

✓ Laquelle :

✓ Pourquoi cette source :

1. La gratuité
2. La facilité de procuration
3. Vertus thérapeutiques
4. Indisponibilité les autres types d'eau

- **Fins d'utilisation :**

1. Tâches ménagères
2. Boisson
3. Cuisson

- **Depuis quand consommez-vous l'eau de source :**

1. Longtemps
2. Récemment
3. Périodique

- **Si vous buvez une eau de source faites-vous un prétraitement :**

1. Oui
2. Non

Si oui de quel traitement s'agit-il :

1. Filtration

Annexes

2. Ebullition

3. Ajout d'eau de javel

- **Avez-vous mis en doute la qualité hygiénique de l'eau de source que vous avez bu ?**

1. Jamais

2. Parfois

3. Souvent

Annexes

Annexe II : Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique (RODIER)

Conductivité électrique	Taux de minéralisation
Conductivité < 100 μ S/cm	Minéralisation très faible
100 μ S/cm < Conductivité < 200 μ S/cm	Minéralisation faible
200 μ S/cm < Conductivité < 333 μ S/cm	Minéralisation moyenne
333 μ S/cm < Conductivité < 666 μ S/cm	Minéralisation moyenne accentuée
666 μ S/cm < Conductivité < 1000 μ S/cm	Minéralisation importante
Conductivité > 1000 μ S/cm	Minéralisation élevée

Annexe III : Normes Algériennes pour l'eau destinée à la consommation humaine (JORADP N° 139 mars 2014)

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/l	0,2
	Ammonium	mg/l	0,5
	Baryum	mg/l	0,7
	Bore	mg/l	Eau conventionnelle :1 Eau dessalés ou déminéralisés :1,3
	Fluorures	mg/l	1,5
	Nitrates	mg/l	50
	Nitrites	mg/l	0 ,2
	Oxydabilité	mg/l O ₂	5
	Acrylamide	µg/L	0,5
	Antimoine	µg/L	20
	Argent	µg/L	100
	Arsenic	µg/L	10
	Cadmium	µg/L	3
	Chrome total	µg/L	50
	Cuivre	mg/l	2

Annexes

Cyanures	µg/L	70
Mercure	µg/L	6
Nickel	µg/L	70
Plomb	µg/L	10
Sélénium	µg/L	10
Zinc	mg/l	5
Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) totaux	µg/L	0,2
Fluoranthène, benzo (3,4) fluoranthène benzo (1,12) fluoranthène, benzo (3,4) pyrène, benzo (1,12) pérylène, indène (1,2,3-cd) pyrène, benzo (3,4) pyrilène		0,01
Benzène	µg/L	10
Toluène	µg/L	700
Ethylbenzène	µg/L	300
Xylènes	µg/L	500
Styrène	µg/L	100
Agents de surface régissant au bleu de méthylène		0,2
Epychlorehydrine	µg/L	0,4
Microcystine LR	µg/L	1
Pesticides par substance		0,1

Annexes

	individualisé	µg/L	
	- Insecticides organochlorés		
	persistants	µg/L	
	- Insecticides organophosphorés et carbamates		0,1
	- Herbicides		0,1
	- Fongicides	µg/L	0,1
	- P.C.B	µg/L	0,1
	- P.C.T	µg/L	0,1
	- Aldrine	µg/L	0,1
	- Dieldrine	µg/L	0,03
	- Heptachlore	µg/L	0,03
	- Heptachloroepoxyde		0,03
	Pesticides (Totaux)	µg/L	0,5
	Bromates	µg/L	10
	Chlorite	µg/L	0,07
	Trihaloéthanes par substance individualisé :		
	-Chloroforme	µg/L	200
	- Bromoforme	µg/L	100
	- Dibromochlorométhane	µg/L	100
	- Bromodichlorométhane	µg/L	60
	Chlorure de vinyle	µg/L	0,3
	1,2-DichloroØthane	µg/L	30
	1,2-Dichlorobenzène	µg/L	1000
	1,4-Dichlorobenzène	µg/L	300
	Trichloroéthène	µg/L	20
	Tétrachloroéthylène	µg/L	40
Radionucléides	Particules alpha	Picocurie/L	15
	Particules bêta	Millirems/an	4
	Tritium	Bequerel/l	100
	Uranium	g/l	30
	Dose totale indicative (DTI)	mSv/an	0,15
Paramètres microbiologiques	Escherichia Coli	n/100ml	0
	Entérocoques	n/100ml	0
	Bactéries sulfitoréductices y compris	n/20ml	0

Annexes

les spores

Tableau 2 : Paramètres avec valeurs indicatives

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS INDICATIVES
Paramètres Organoleptiques	Couleur	mg/l platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur 25 ⁰ C	Taux dilution	4
	Saveur 25 ⁰ C	Taux dilution	4
Paramètres physico- chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Alcalinité	mg/l CaCO ₃	65 pour les eaux dessalés ou deminéralisé (valeur minimale)
	Calcium	mg/l	200
	Chlorure	mg/l	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	Supérieur a 6,5 et inferieur a 9
	Conductivité 20 0C	S/cm	2800
	Dureté (TH)	mg/l en CaCO ₃	500
	Fer total	mg/l	0,3
	Manganèse	g/l	50
	Phosphore	mg/l	5
Potassium	mg/l	12	

Annexes

	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
	Température	°C	25

Annexes

ANNEXE IV : Normes de l'OMS de qualité des eaux potables (2006)

GROUPE DE PARAMETRE	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres physiques	PH		Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5
	Conductivité		Pas de norme
	Température		Acceptable
	Turbidité	NTU (1NTU pour la désinfection)	5
Paramètres organoleptiques	Couleur		Pas de valeur guide
	Goût et odeur		Acceptables
Groupe de paramètre	Paramètres	Unités	VALEURS LIMITES (CMA)
Eléments toxiques	Arsenic (As)	mg/l	0.01
	Cadmium(Cd)	mg/l	0,003
	Chrome Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	mg/l	chrome total : 0,05
	Cyanure (CN ⁻)	mg/l	0,07
	Mercure (Hg)	mg/l	inorganique : 0,006
	Sélénium(Se)	mg/l	0,01
	Plomb(Pb)	mg/l	0,01
	Antimoine(Sb)	mg/l	0.02
	Fer(Fe)		Pas de valeur guide
	Manganèse(Mn)	mg/l	0 ,4
Eléments indésirables	Aluminium(Al)	mg/l	0,2
	Cuivre (Cu ²⁺)	mg/l	2
	Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l	0.5
	Argent		Pas de valeur guide
	Fluorures	mg/l	1,5
	Zinc(Zn)	mg/l	3
	Bore(B)	mg/l	0.5
	Hydrocarbures aromatiques polynucléaires C ₂ H ₃ N ₁ O ₅ P _{1 3}	µg/l	0.1

Annexes

	Pesticides	mg/l	0.0001
Minéralisation globale	THM (Trihalométhanes) C Cl ₄	µg/l	4
	Calcium Ca²⁺	mg/l	100
	Chlorures (Cl)	mg/l	250
	Dureté mg/l CaCO₃	ppm	200
	Sodium (Na)	mg/l	20
	Magnésium Mg²⁺	Magnésium Mg²⁺	
	Potassium (K⁺)	mg/l	12
Groupe de paramètre	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres microbiologiques	Coliformes totaux	nb/100ml	0
	Coliformes fécaux	nb/100ml	0
	Streptocoques fécaux	nb/100ml	0
	Clostridium Sulfito-Réducteurs	nb/100ml	0
	Staphylocoques pathogènes	nb/100ml	0
	Spoires des bactéries	nb/20ml	0
	Vibrions cholériques	nb/10ml	Absence
	Salmonella	nb/5l	Absence

Résumé :

L'altération de l'environnement naturel, en particulier de l'aquifère, est devenue progressivement une préoccupation mondiale, Différentes substances polluantes entraînent de plus en plus de désastres environnementaux avec dégradation de la qualité des ressources disponibles et exploitables notamment les métaux lourds en raison de leur forte toxicité, même à de faibles concentrations.

Les objectifs de notre étude sont principalement relatifs à l'appréciation de la qualité des eaux souterraines de certains sources de la wilaya de Tlemcen qui sont exploitées par la majorité de la population en déterminant la concentration de certains métaux lourds (plomb, cadmium, cuivre et zinc) par la technique polarographie en confrontant les valeurs des paramètres analysés aux normes physico-chimiques de potabilité fixées par la réglementation Algérienne et l'OMS , En plus d'un questionnaire servant à évaluer les habitudes alimentaires concernant les eaux de sources de la même région.

Nos résultats d'analyse montrent que les paramètres physiques (pH, conductivité) et chimiques (dosage des ions métalliques) sont conformes aux normes physico-chimiques de potabilité fixés par la réglementation Algérienne.

Mots clés : eau souterraine, pollution, métaux lourds, analyse physique-chimique, Réglementation Algérienne.

Abstract :

The alteration of the natural environment, in particular of the aquifer, has gradually become a global concern. Various polluting substances are leading to more and more environmental disasters with degradation of the quality of available and exploitable resources, in particular heavy metals due to of their high toxicity, even at low concentrations.

The objectives of our study are mainly related to the appreciation of the quality of the groundwater of certain sources of the wilaya of Tlemcen which are exploited by the majority of the population by determining the concentration of certain heavy metals (lead, cadmium, copper and zinc) by the polarography technique by comparing the values of the parameters analyzed to the physico-chemical standards of drinkability set by the Algerian regulations and the WHO, In addition to a questionnaire used to assess the dietary habits concerning water from sources of the same region.

Our analysis results show that the physical (pH, conductivity) and chemical (dosage of metal ions) parameters comply with the physicochemical potability standards set by Algerian regulations.

Keywords: groundwater, pollution, heavy metals, physical-chemical analysis, Algerian regulations

ملخص

أصبح تغيير البيئة الطبيعية، ولا سيما طبقة المياه الجوفية، مصدر قلق عالمي تدريجياً، حيث تتسبب العديد من المواد الملوثة في المزيد والمزيد من الكوارث البيئية مع تدهور جودة الموارد المتاحة والقابلة للاستغلال، وخاصة المعادن الثقيلة بسبب سميتها العالية، حتى بتركيزات منخفضة.

ترتبط أهداف دراستنا بشكل أساسي بتقدير جودة المياه الجوفية من بعض منابع ولاية تلمسان والتي يتم استغلالها من قبل غالبية السكان من خلال تحديد تركيز بعض المعادن الثقيلة (الرصاص والكاديوم والنحاس والزنك) بتقنية الاستقطاب من خلال مقارنة قيم النتائج المتحصل عليها بالمعايير الفيزيائية والكيميائية لقابلية الشرب التي حددتها القوانين الجزائرية. ومنظمة الصحة العالمية، بالإضافة إلى استبيان يهدف لتقييم العادات المتعلقة بالمياه الجوفية لنفس المنطقة. تظهر نتائج تحليلنا أن المعايير الفيزيائية (الأس الهيدروجيني والتوصيلية) والكيميائية (جرعة أيونات المعادن) تتوافق مع معايير قابلية الشرب الفيزيائية والكيميائية التي حددتها القوانين الجزائرية.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية ، التلوث ، المعادن الثقيلة ، التحليل الفيزيائي والكيميائي ، القوانين الجزائرية.