

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

IV.1.Introduction

Les métaux lourds sont des polluants engendrés par l'activité humaine qui ont un fort impact toxicologique. Dans un milieu naturel, les éléments métalliques peuvent être classés en deux catégories :

- ✚ La première catégorie rassemble les éléments qui, présents à l'état de trace, sont essentiels à la croissance, au développement voire à la reproduction des organismes vivants, aussi bien micro que macroscopiques. Les métaux suivants en font partie: Cu, Zn, Co, Fe, Mn, Ni, Cr, V, Mo, Se, Sn. Lorsque la concentration de ces éléments est trop faible, un phénomène de carence est donc observable pour ces organismes. Ainsi, il a, par exemple, été montré qu'un manque de fer pouvait être à l'origine d'une diminution du développement phytoplanctonique. Pour autant, une augmentation forte de la concentration en ces éléments métalliques peut aboutir à des phénomènes de toxicité.
- ✚ La deuxième catégorie est quant à elle constituée des éléments métalliques toxiques, non nécessaires à la croissance des organismes vivants, tels que le cadmium, le plomb, le mercure.

L'ensemble de ces éléments peut être d'origine naturelle mais leurs concentrations sont généralement modifiées par les activités anthropiques générant d'importantes pollutions. La quantification de ces éléments traces est donc une donnée indispensable à l'estimation de leur impact dans un environnement donné [1].

Dans notre travail on s'intéresse aux analyses des eaux des barrages et la détection des métaux lourds par la spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) pour notre étude nous avons choisie le barrage de SEKKAK.

IV.1.1.Description du barrage de sekkak

L'oued Sekkak situé au Nord Ouest du territoire Algérien figure (IV-1) s'étend sur la totalité de la région de Ain youcef Wilaya de Tlemcen avec une superficie du sous bassin avoisinant les 326 km². Sa confluence avec Oued Tafna à lieu dans la plaine de Remchi à 81 m d'altitude et son débit liquide moyen annuel est de 1,47 m³/s.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

Le débit d'étiage non nul ($0.239 \text{ m}^3/\text{s}$) est alimenté, par différents tronçons, par des émergences et par des rejets des eaux usées.

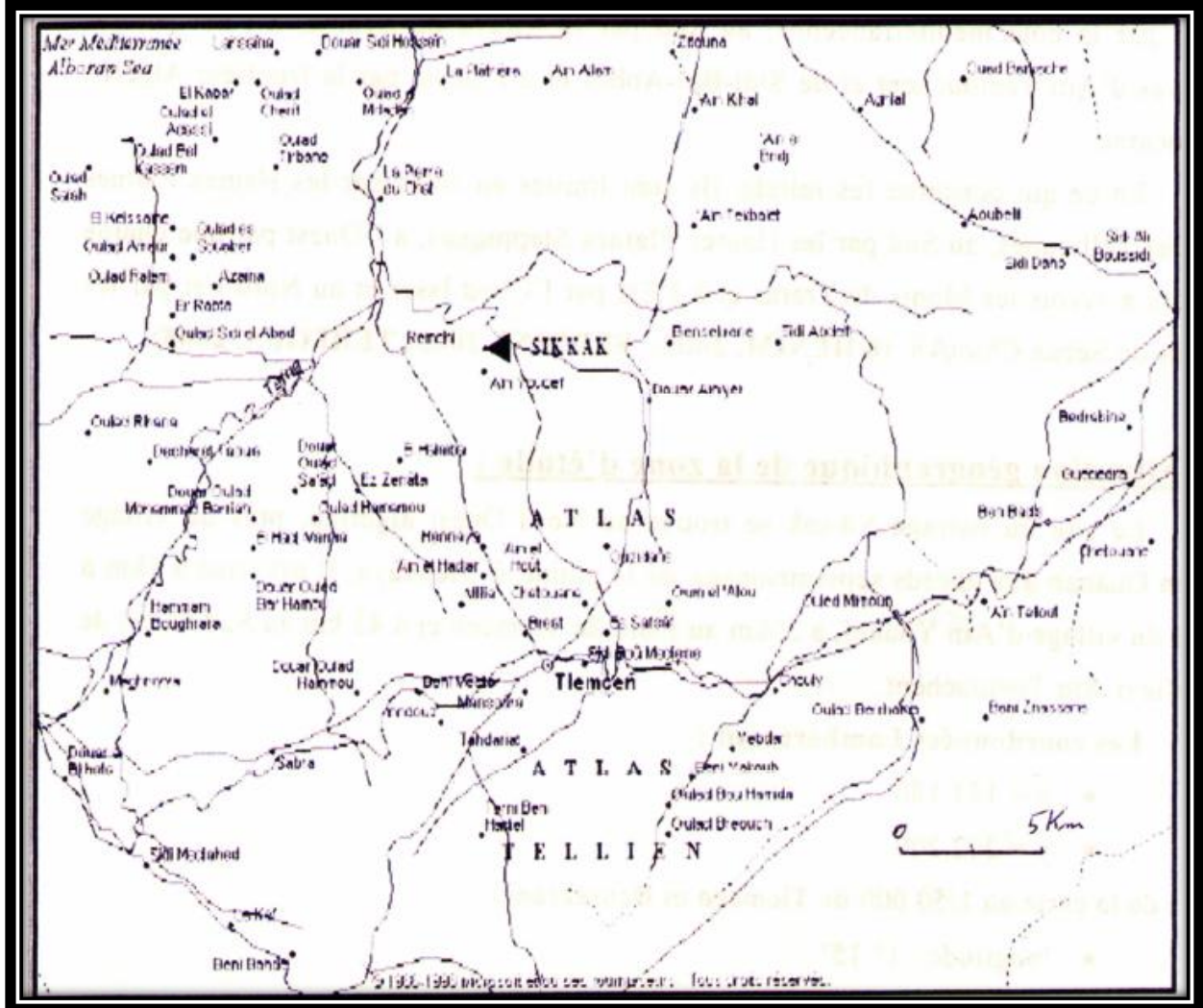


Figure (IV-1) : Carte d'oued Sekkak.

Coordonnées Lambert du site :

X= 131.8m.

Y = 202 .2 m

Z = 178.0 m du côté de lit de l'oued [2].

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

IV.1.2.Capacité du barrage

Le barrage est mis en service en 2004, sa capacité est de 27 millions m³ et il permet d'emmagasiner annuellement 22 millions m³ d'eau :

- ❖ 15 millions m³ utilisés pour l'irrigation ;
- ❖ 7 millions m³ servent pour AEP (alimentation en eau potable) et l'industrie.



Figure (IV-2) : Barrage SEKKAK.

IV.1.3.Description de la station de traitement des eaux de sekkak

La station de traitement des eaux de SEKKAK :

Wilaya : Tlemcen ;

Daïra : Remchi ;

Commune : Ain Youcef ;

Lieu : plateau de Sekkak ;

Date de mise en charge : Juillet 2006 ;

Date de mise en service : 18 Juillet 2006 ;

Surface de protection : 975m² ;

L'eau brute en provenance du barrage SEKKAK passe par la station de traitement au moyen d'une conduite d'adduction en acier de diamètre 700mm, qui converge vers une autre canalisation de diamètre de 500mm à l'entrée de la chambre d'arrivée.

L'eau brute doit être traitée au cours des étapes suivantes :

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

IV.1.3.1.préchloration

Les réactifs de la préchloration (le chlore, sulfate d'alumine) sont injectés afin de soulager la coagulation-floculation et la filtration ; ils agissent par oxydation des différents corps contenus dans l'eau sur

- La matière organique oxydable ;
- Les microorganismes : bactéries, algues, planctons, susceptibles de se développer dans les ouvrages et de provoquer par exemple des fermentations anaérobiques ;
- Le fer et le manganèse ;
- L'ammoniaque : par leur transformation en chloramine (monochloramine et dichloramine).

IV.1.3.2.Cascade d'aération

Cette étape est très utilisée pour éliminer les gaz (CO_2 , H_2S) et les odeurs désagréables. La cascade permet aussi l'augmentation de la teneur en oxygène afin de rendre l'eau agréable à boire et d'éviter les corrosions dans les conduites métalliques



Figure (IV-3) : Cascade d'aération.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

IV.1.3.3.coagulation-floculation

La coagulation-floculation est un procédé physicochimique de clarification des eaux, l'addition d'un coagulant comme le sulfate d'alumine $[Al_2 (SO_4)_3]$ avec une agitation rapide pour leur homogénéisation et leur dispersion dans l'eau entraîne les déstabilisations des matières en suspension.

La formation des floccs est obtenue par l'injection d'un floculant nommé polymère (polyacrylamide) avec une agitation lente qui permet l'augmentation de la taille des floccs et la non destruction de ces derniers.



Figure (IV-4) : Bassin coagulation.

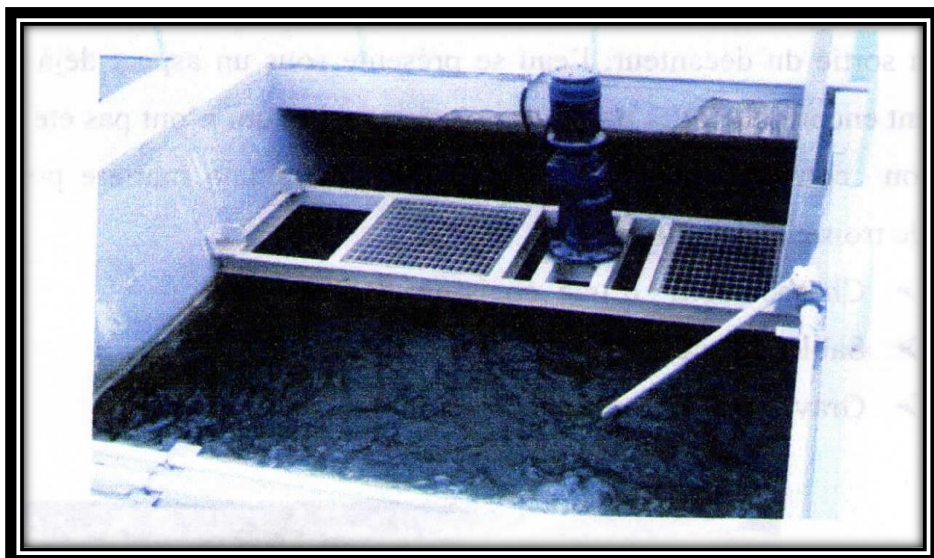


Figure (IV-5) : Bassin floculation.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

IV.1.3.4. Décantation

Au niveau de la décantation l'eau arrive du font vers le haut à travers des plaques lamellaires, les particules décantées s'accumulent au font du bassin de décantation à l'aide de leurs propres poids.

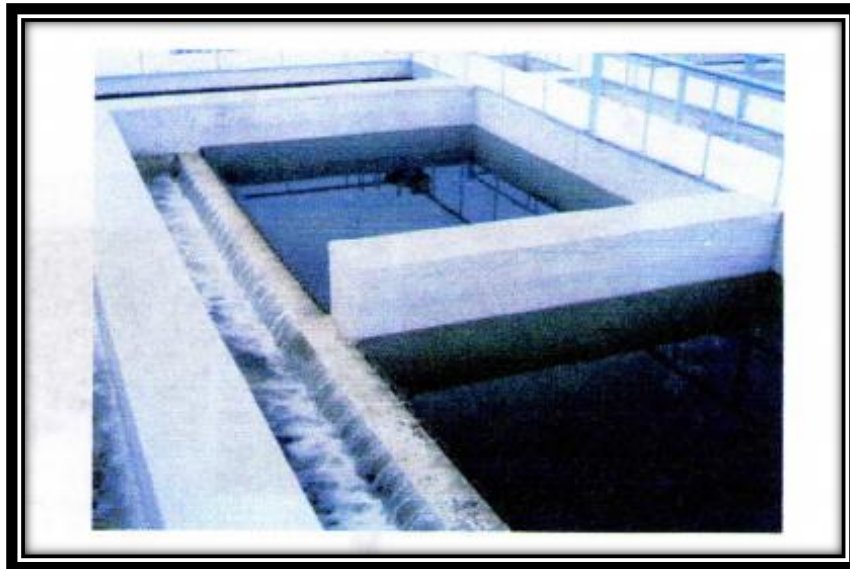


Figure (IV-6) : Bassin de décantation.

IV.1.3.5. Filtration

A la sortie du décanteur, l'eau se présente sous un aspect déjà relativement limpide, mais contient encore quelques particules en suspension qui n'ont pas été décantées.

La filtration consiste à faire passer l'eau à travers une matière poreuse (filtre), qui est composée de trois couches :

- Charbon actif : d'une épaisseur de 30 cm ;
- Sable : d'une épaisseur de 40 à 50 cm ;
- Gravier : d'une épaisseur de 10cm.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

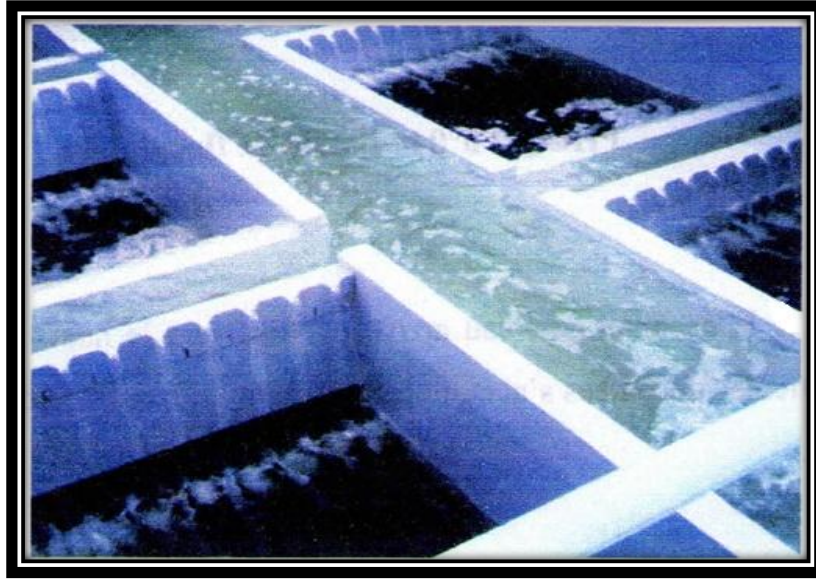


Figure (IV-7) : bassin de filtration.

Le filtre s'encrasse peu à peu jusqu'au moment où il est nécessaire de le nettoyer, l'opération se fait par un retour d'eau et d'air.



Figure (IV-8) : Nettoyage des filtres.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

IV.1.3.6. Désinfection

A ce stade l'eau est parfaitement limpide, mais elle risque de contenir des bactéries qui peuvent être pathogènes, la désinfection a pour but d'éliminer et d'empêcher la prolifération des bactéries pendant le passage de l'eau de la station de traitement jusqu'au consommateur [3].

IV.2. Analyse de l'eau du barrage SEKKAK

L'étude expérimentale est un outil d'évaluation de la qualité des eaux, on commence par l'analyse physico-chimique nous avons choisie quelques paramètres et après on voit la concentration du plomb, zinc, fer, cuivre, cadmium dans l'eau du barrage.

Pour cette étude nous avons pris deux échantillons :

- ❖ eau brute
- ❖ eau traitée

IV.2.1. Les paramètres physicochimiques

IV.2.1.1. Température

La température d'une eau potable devrait être inférieure en été et supérieure en hiver à la température de l'air. Pour que l'eau potable soit désaltérante, sa température doit situer entre 8 et 15°C ; entre 20 et 25 °C elle désaltère mal. L'OMS ne recommande aucune valeur. Pratiquement, la température d'eau n'a pas d'incidence directe sur la santé humaine, cependant, une température supérieure à 15 °C favorise le développement des micro-organismes dans les canalisations en même temps qu'elle peut intensifier les odeurs et les saveurs. Par contre une température inférieure à 10 °C ralentit les réactions chimiques dans les différents traitements d'eaux.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

IV.2.1.2.PH

Le pH exprime l'acidité ou l'alcalinité suivant qu'il se trouve dans la bande de 0 à 7 ou de 7 à 14, le 7 constitue la neutralité du milieu. Le PH est indissociable de la température de l'oxygène dissous, de la minéralisation totale.

La mesure du pH grâce à un PH-MÈTRE ou un comparateur colorimétrique approprié est tout à fait valable pour déterminer la concentration de l'ion d'hydrogène et l'ion d'hydroxyde.

IV.2.1.3.La conductivité

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique.

L'unité de conductivité est le Siemens par mètre (S/m).

$$1 \text{ S/m} = 10^4 \mu\text{S/cm} = 10^3 \text{ mS/m.}$$

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution.

D'une façon générale, la conductivité s'élève progressivement de l'amont vers l'aval des cours d'eau, les écarts sont d'autant plus importants que la minéralisation initiale est faible, en particulier dans les zones à substrat acide ou à sous-sol siliceux.

Dans le cas d'un contrôle de distribution d'eau potable, l'intérêt de cette méthode ne réside pas dans une seule mesure mais dans une série de déterminations ou d'enregistrements en continu qui permettront de déceler les variations de composition pouvant signaler des arrivées d'eau susceptibles d'être polluées.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

Conductivité < 100µS/cm	Minéralisation très faible
100µS/cm < Conductivité <200µS/cm	Minéralisation faible
200µS/cm < Conductivité <333µS/cm	Minéralisation moyenne
333µS/cm < Conductivité <666µS/cm	Minéralisation moyenne accentuée
666µS/cm < Conductivité <1000µS/cm	Minéralisation importante
Conductivité >1000µS/cm	Minéralisation élevé

Le tableau (IV-1) : la qualité des eaux en fonction de la conductivité.

IV.2.1.3.1. Détermination de la minéralisation totale à travers la conductivité électrique

Le tableau suivant nous donne la concentration minérale à partir de la conductivité :

Conductivité en µS/cm	Minéralisation en mg/L
Conductivité < 50	Minéralisation= Conductivité ×1.365079
50 < Conductivité <166	Minéralisation= Conductivité ×0.947658
166 < Conductivité < 333	Minéralisation= Conductivité ×0.769574
333 < Conductivité < 833	Minéralisation= Conductivité ×0.715920
833 < Conductivité <1000	Minéralisation= Conductivité ×0.758544
Conductivité > 1000	Minéralisation= Conductivité ×0.850432

Le tableau (IV-2) : la relation entre la minéralisation et la conductivité.

IV.2.1.4. Calcium

Le calcium est un métal alcalino terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates.

Composant majeur de la dureté de l'eau, le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures, etc. les eaux de pluies, de citernes n'en referment que des traces.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

L'oxyde de calcium est très largement utilisé dans le bâtiment, les papeteries, le traitement des eaux, etc. Les opérations de neutralisation, en particulier dans les eaux résiduaires industrielles contribuent à des rejets significatifs dans le milieu.

Cependant, les recherches et les études statistiques ont montré qu'il n'y aurait pas de relation dose-effet avec la teneur de cet élément dans l'eau. La charge calcique de l'homme standard est d'environ 1 200 g dont 99 % se trouvent dans le squelette, le reste, partiellement ionisé, se répartit dans les liquides organiques. En raison de la régénération des tissus, 700 à 800 mg sont éliminés chaque jour, dont 200 à 400 mg par les matières fécales et 100 à 300 mg par les urines.

Les eaux potables de bonne qualité renferment de 100 à 140 mg/L de calcium soit 150 à 200 mg en CaO ou 250 à 350 mg en CaCO₃.

IV.2.1.4.1. Dosage de calcium :(méthode titrimétrique)

a- Principe

Pour déterminer la dureté calcique on utilise l'EDTA (acide éthylènediamine tétracétique) comme complexant. Auparavant on précipite le magnésium sous forme de Mg (OH)₂ pour obtenir un PH = 12, par addition de la soude, l'indicateur utilisé est sensible aux seuls ions de calcium, c'est le murexide qui répond à cette condition

b- Réactifs utilisés

- ✓ solution d'EDTA 0,02N.
- ✓ solution NaOH 0,1N.
- ✓ murexide.

c- Mode opératoire

Dans un erlenmeyer de 250 ml, on prélève 50 ml d'eau à analyser, on ajoute 12 ml de solution de NaOH et une pincée de murexide, puis on fait la titration par la solution d'EDTA jusqu'au virage du rosé en pourpre.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

d- Expression des résultats

$$D_{Ca^{2+}} = V_{EDTA} * 8.016$$

$D_{Ca^{2+}}$: dureté calcique en mg/L.

V_{EDTA} : volume d'EDTA

IV.2.1.5.Chlorures

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Ainsi, les eaux courantes exemptes de pollution ont une teneur généralement inférieure à 25 mg/L, mais dans certaines régions, la traversée de marnes salifères peut conduire à des teneurs exceptionnelles de 1000 mg/L. Le grand inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils transmettent à l'eau à partir de 250 mg/L, surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium.

IV.2.1.5.1.Dosage des chlorures (Méthode de Mohr)

Parmi les méthodes préconisées, l'argentimétrie est utilisée pour les eaux relativement claires contenant de 0,15 à 10 mg/L de chlore dans l'aliquote.

La potentiométrie convient aux eaux colorées ou troubles pour lesquelles les virages colorimétriques peuvent être difficiles à percevoir. Elle peut être utilisée sans prétraitement en présence d'ions ferriques à condition que la teneur soit inférieure à la concentration en chlorures. Il en est de même pour les ions chrome, phosphate ferreux et les autres métaux lourds.

La méthode par flux continu se prête à des mesures en série. La chromatographie ionique s'applique à des teneurs supérieures au mg/L.

a-Principe

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

b-Réactif

- ✓ acide nitrique pur.
- ✓ carbonate de calcium pur.
- ✓ solution de nitrate d'argent 0.1 N

c-Mode opératoire

Introduire 100 mL d'eau à analyser, préalablement filtrée, dans une fiole conique de 250 mL. Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur puis une pincée de carbonate de chaux et 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10 %.

Verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 minutes.

Soit V_x le nombre de millilitres de nitrate d'argent 0,1 N utilisés.

d- Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 100 mL :

$V_x \times 3,55$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de Cl par litre d'eau.

$V_x \times 5,85$ donne la teneur en chlorures exprimée en milligrammes de NaCl par litre d'eau.

IV.2.1.6.Dureté totale

L'expression « dureté de l'eau » semble venir de ce qu'il était « dur » de laver avec une telle eau.

Sauf exceptions très particulières, la dureté a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium. Il n'est pas facile de définir un niveau entre ce qui constitue une eau dure et une eau douce. Cependant, on peut considérer qu'une eau ayant une teneur inférieure à 75 mg/L de CaCO_3 ou à 30 mg/L de Ca est une eau douce et qu'au dessus, il s'agit d'une eau dure. Les eaux provenant de terrains calcaires et surtout de terrains gypseux peuvent avoir des duretés très élevées, susceptibles d'atteindre 1g/L de CaCO_3 . Par contre les eaux en provenance de terrains cristallins auront des duretés très faibles.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

IV.2.1.6.1. Dosage de la dureté totale (méthode titrimétrique)

Cette méthode permet de doser rapidement les ions calcium et magnésium avec certaine précaution, elle est appropriée à la plupart des types d'eaux

a-Principe

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'acide éthylènediamine tétracétique à PH=10. La disparition des derniers traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage de l'indicateur spécifique, doser avec EDTA N/50 jusqu'au virage de violet au bleu. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

b- Réactif

- ✓ EDTA 0.02N (0.01M).
- ✓ 50ml d'eau à analysé
- ✓ 4ml de solution tampon de PH doit être à 10.
- ✓ 3 gouttes de NET

c- Mode opératoire

Dans un erlenmeyer de 250 ml on prélève 50 ml d'eau à analyser puis on ajoute 8ml de la solution tampon et trois gouttes d'indicateur coloré NET ensuite on fait la titration par la solution d'EDTA jusqu'au virage du rouge au bleu vert.

d-Expression des résultats

$$TH = (N_{EDTA} * V_{EDTA}) * 1000/V_o$$

TH : Dureté totale en meq/L.

V_o : volume d'eau à analyser.

V_{EDTA}=13.7ml pour l'eau brute et 12.9ml pour l'eau traitée [4].

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

IV.2.2. Résultats des analyses du barrage SEKKAK

Les analyses physico-chimiques sont effectuées au sein du laboratoire de physique et chimie de l'eau et de sol de l'université de Tlemcen département de sciences de la terre et de l'univers les résultats sont présentés au tableau suivant :

Les paramètres	Eau brute	Eau traité	Unité	Valeur maximal	Méthode d'analyse
PH	7.81 à 24.7C°	7.83 à 25.3C°	-	8.5	PH-Mètre
conductivité	985 à 24.7 C°	993 à 25.3 C°	µS/cm	2880	Conductimètre
Minéralisation	747	753	mg/L	-	-
Chlorure	390.5	67.45	mg/L	500	Mohr
Calcium	29.66	12.02	mg/L	200	titrimétrique
Dureté totale	17.5	16.5	F°	50	titrimétrique
Magnésium	48	54.72	mg/L	150	titrimétrique

Tableau (IV-3) : paramètres physicochimiques du barrage SEKKAK.

IV.2.2.1.interprétation

IV.2.2.1.1.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 indique que le pH doit être compris entre : $6,5 < \text{pH} < 8,5$.

Les résultats de notre analyse donnent une valeur de $\text{pH} = 7,81$ pour le premier échantillon et de $\text{pH} = 7,83$ pour le deuxième, donc on constate que le pH se trouve dans les normes.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

IV.2.2.1.2. Conductivité

La mesure de la conductivité permet d'apprécier la qualité des sels dissous dans l'eau. La réglementation Algérienne indique une valeur limite de 2880 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Bien que notre résultat est de 985 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le premier échantillon et de 993 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le deuxième échantillon, les valeurs sont dans les normes

IV.2.2.1.3. Chlorure

L'OMS recommande pour la teneur en chlorures dans les eaux destinée à la consommation humaine une valeur guide de 250 mg/L. La réglementation Algérienne indique un niveau guide de 200 mg/L et une valeur maximal de 500 mg/L.

Alors que la teneur en chlorure de nos deux échantillons est de 390.5mg/L et de 67.45mg/L respectivement, et ces valeurs restent dans les normes.

IV.2.2.1.4. Calcium

L'OMS recommande pour la teneur en chlorures dans les eaux destinée à la consommation humaine une valeur guide de 250 mg/L. La réglementation Algérienne indique un niveau guide de 200 mg/L et une valeur maximal de 500 mg/L.

Alors que la teneur en chlorure de nos deux échantillons est de 29.66 et de 12.02 mg/L respectivement, et ces valeurs restent dans les normes.

IV.2.2.1.4. Dureté totale

Pour l'eau destinée à la consommation humaine. L'OMS indique qu'une dureté élevée peut provoquer la formation des dépôts tandis qu'une faible dureté peut engendrer des problèmes de corrosion. La réglementation Algérienne précise une valeur comprise entre 100-500 mg/L (10-50 °F).

La valeur qu'on a trouvée pour notre échantillon est de 175mg/L (17.5°F) pour le premier échantillon et de 165 mg/L (16.5°F) pour le deuxième échantillon donc elle se trouve dans les normes.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

IV.3. Origine des métaux lourds et impact sur l'environnement

Une quantité importante de métaux lourds est introduite dans l'environnement par l'intermédiaire de sources naturelles et humaines. Cette contamination a plusieurs origines telles que la combustion de fossiles, les gaz d'échappement des véhicules, l'incinération, l'activité minière, l'agriculture et les déchets liquides et solides. Mais elle peut également être d'origine naturelle via les volcans, l'activité des sources thermales, l'érosion, l'infiltration, etc. D'autre part, le cadmium, l'arsenic, et surtout le mercure et le plomb sont introduits dans l'environnement, de façon quasi exclusive par l'homme.

IV.3.1. Contamination des sols

Les surfaces concernées par la pollution métallique sont estimées, en France, à 200 000 ha le long des axes routiers et à 400 000 ha à proximité des sites industriels. Les métaux peuvent être soit fixés sur les roches et les sédiments, soit mobiles. Dans le premier cas, les quantités disponibles sont infimes et ils n'ont aucune signification sur l'environnement. Mais lorsque les conditions changent de telle manière que les métaux redeviennent solubles, l'augmentation de la concentration devient alors une menace directe pour l'environnement du fait de l'augmentation de leur disponibilité pour les plantes. En outre, depuis quelques années, les pluies acides augmentent la mobilité des métaux dans le sol et causent donc une augmentation de leur concentration dans les produits agricoles.

IV.3.2. Contamination de l'air

Les principales sources de métaux dans l'air sont des sources fixes. De nombreux éléments se trouvent à l'état de traces dans des particules atmosphériques provenant de combustions à haute température, de fusions métallurgiques, des incinérateurs municipaux, des véhicules, etc. Les effets biologiques, physiques et chimiques de ces particules sont fonction de la taille des particules, de leur concentration et de leur composition, le paramètre le plus effectif sur l'environnement étant la taille de ces particules. Dans l'air ambiant, on trouve de nombreux éléments, comme le plomb, le cadmium, le zinc, le cuivre, etc., dont la concentration est d'autant plus élevée que les particules sont fines.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

IV.3.3. Contamination de l'eau

Il est assez difficile de prévoir l'évolution des métaux dans l'environnement, car ils peuvent subir un grand nombre de transformations (oxydation, réduction, etc.), et car cette évolution dépend fortement du milieu. En effet, la migration des métaux lourds vers la nappe phréatique est fonction de nombreux paramètres:

- la forme chimique initiale du métal.
- la perméabilité du sol et du sous-sol.
- la porosité du sol.
- le pH: dans un milieu acide, les métaux risquent de se solubiliser, alors que dans un milieu alcalin, ils peuvent former des hydroxydes métalliques.
- l'activité biologique: certains micro-organismes ont la capacité d'ingérer des métaux, alors que d'autres les solubilisent par acidogénèse.
- le potentiel redox du sol.
- la composition minéralogique du sol: il peut y avoir formation de composés.
- la teneur en matières organiques du sol: (complexation des métaux par les substances humiques).

En général, l'accumulation des métaux lourds dans l'environnement peut se répercuter sur la santé des êtres humains et des animaux. A l'échelle microscopique, les métaux lourds ont aussi des effets néfastes sur les populations bactériennes, ce qui n'est pas sans conséquences sur le fonctionnement de l'écosystème. En effet, les micro-organismes occupent des positions clés dans les cycles des bioéléments. Les hommes sont exposés par inhalation des polluants aériens, la consommation d'eau contaminée, l'exposition à des sols contaminés de déchets industriels. Ils s'accumulent dans les organismes vivants et perturbent les équilibres et mécanismes biologiques, provoquant des effets toxiques à court et/ou à long terme. Ils peuvent affecter le système nerveux, les fonctions rénales, hépatiques, respiratoires.

Ils peuvent causer des problèmes sérieux comme un retard de croissance et de développement, des perturbations des systèmes biorégulateurs responsables de troubles étiquetés fonctionnels ou psychosomatiques (syndrome fatigue chronique, fibromyalgie) des problèmes neuro-dégénératifs (Parkinson, Alzheimer) et finalement des lésions organiques et des cancers.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

L'intoxication par quelques métaux, tels le mercure et le plomb peuvent aussi entraîner des phénomènes d'autoimmunité, dans lesquels le système immunitaire du patient attaque ses propres cellules. Cela peut conduire à des affections articulaires, telle l'arthrite rhumatoïde, des problèmes rénaux, circulatoires et nerveux [5].

IV.4. Généralités sur le plomb, zinc, fer, cuivre, cardium

IV.4.1. Plomb

Le plomb est un constituant naturel, largement réparti dans la croûte terrestre à des teneurs de l'ordre de 13 mg/kg. Les sols acides sont généralement moins riches en plomb que les sols alcalins. Il peut être présent sous forme de carbonates (cérusite), de phosphates (pyrophosphite), mais surtout de sulfure (galène). Ce dernier sel, très peu soluble, peut cependant se transformer en hydroxyde ou en carbonate, après avoir été oxydé en sulfate. Il a été estimé qu'environ 160000 tonnes de plomb sont ainsi libérées annuellement dans le monde; seulement 1/6 de ce plomb est sous forme dissoute, le reste est associé aux matières en suspension.

De ce fait, la majorité du plomb véhiculé par les eaux de surface se retrouve dans les sédiments. La nature des matières organiques édaphiques joue aussi un rôle important dans la concentration en plomb des sols. Cependant, les végétaux absorbent peu le plomb tellurique et le métal ne se concentre pas au long de la chaîne alimentaire.

La désintégration du radon donne du plomb 210 dont la période radioactive est de 22 ans. L'eau de mer contient en moyenne 0,03 µg de plomb par litre mais, dans les zones côtières, les eaux superficielles peuvent en renfermer 10 fois plus. La quantité de plomb introduite dans les océans à partir des cours d'eau a été estimée à environ 17000 t/an (Patterson).

Les eaux de pluie peuvent présenter des teneurs significatives (5 µg/L). Généralement, la concentration des eaux de surface non contaminées ne dépasse pas une dizaine de microgrammes par litre; la présence de plomb à des teneurs plus élevée, qu'il soit solubilisé ou fixé sur les matières en suspension, soit être reliée à une cause externe.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

Ce métal est en effet si répandu et si utilisé dans l'industrie que les possibilités de pollution sont extrêmement nombreuses et variées. Les activités humaines entraînant, la formation d'aérosols plombifères constituent, actuellement, la principale source de plomb dans l'hydrosphère. Les émissions de plomb liées aux activités humaines ont été évaluées à environ 12000 tonnes par an. La pollution des eaux de surface en plomb à partir de la circulation routière peut avoir un caractère significatif : des teneurs allant de 100 à 200 µg/L sont susceptibles d'être retrouvées aux abords d'une autoroute avec des dépôts de plomb allant de 100 à 1 000 µg/m² par jour.

Bien que les eaux de distribution à la sortie des usines de traitement respectent le plus souvent les concentrations autorisées en plomb, il arrive que des dépassements soient observés au robinet du consommateur. Les causes peuvent être liées à la présence de tuyaux en plomb, très utilisée autrefois, ou de brasures au plomb et à l'étain employées pour le liais des tuyaux en cuivre. En effet, le flux utilisé dans le brasage, de par son action souvent corrosive, constitue un électrolyte favorisant la corrosion des brasures.

IV.4.2.Zinc

Le zinc se retrouve dans les roches généralement sous forme de sulfure. Le minerai le plus répandu est le sulfure de zinc (blende) qui contient également du fer, du cadmium, du manganèse et de l'arsenic. L'extraction du zinc se fait par grillage du minerai. En métallurgie, il entre dans de nombreux alliages ; est aussi très employé pour la galvanisation des pièces métalliques, dans la fabrication de pigments pour la teinture, les vernis, comme raticide (phosphure de zinc) et dans la fabrication de produits phytosanitaires. Dans l'eau la solubilité des chlorure et sulfate de zinc est importante, leur hydrolyse conduit à une diminution du pH. En présence d'un excès d'hydrogénocarbonate, la solubilité du zinc est contrôlée par la solubilité du carbonate qui est relativement soluble et de l'hydroxyde qui l'est peu.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

D'une façon générale les eaux à pH faible ont des teneurs en zinc plus importantes. La présence de zinc dans les eaux de surface doit être rattachée à des activités industrielles. Par contre, le zinc retrouvé dans les eaux de distribution à des teneurs pouvant dépasser 1 mg/L provient généralement des canalisations de laiton ou de fer galvanisé, attaquées par les eaux agressives ou riches en chlorures et sulfates. Il est à noter que le zinc sous forme d'orthophosphates est utilisé comme inhibiteur de corrosion pour les canalisations en plomb.

Le zinc est considéré comme un élément essentiel dans la nutrition humaine et animale. La quantité journalière recommandée serait de 15 mg pour un adulte et de 10 mg pour un enfant; l'apport alimentaire quotidien permet habituellement de satisfaire à ce besoin. La quantité ingérée par l'eau est négligeable. L'absorption par l'organisme est faible et se réalise par une combinaison avec des métallo-enzymes dont l'action biologique implique la présence de zinc ; l'élimination est principalement intestinale. Le zinc aurait une action de protection vis-à-vis du cadmium et du plomb et jouerait le rôle d'antioxydant vis-à-vis des radicaux libres. D'un point de vue physiologique, et sans que la toxicité puisse entrer en jeu, il apparaît surtout que la quantité de zinc tolérable dans l'eau est rapidement limitée par le goût désagréable des sels de zinc (au-dessus de 5 à 10 mg/L).

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, en raison de problèmes particuliers susceptibles d'introduire une gêne pour le consommateur (aspect, goût), l'OMS recommande comme valeur limite pour le zinc 3 mg/L.

IV.4.3.Fer

Très répandu, le fer se classe au 4^e rang des éléments de la croûte terrestre. Il est largement utilisé dans la métallurgie et ses utilisations secondaires dans la chimie sont très variées.

Les eaux de surface peuvent contenir jusqu'à quelques mg/L de fer ayant pour origine la lixiviation des terrains traversés ou les pollutions industrielles; dans les eaux de distribution, il provient le plus souvent de la corrosion des conduites d'aménages ou de l'emploi de sels de fer pour les traitements de coagulation-floculation, en particulier dans le cas d'une mauvaise maîtrise des opérations.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

Le fer peut se rencontrer jusqu'à 10 mg/L dans les eaux de sondage. Les eaux minérales et principalement les eaux thermominérales peuvent en contenir plus de 10 mg/L.

Ce métal à l'état ferreux est assez soluble dans l'eau ; il précipite à la suite du dégagement de l'anhydride carbonique et par oxydation à l'air. Suivant les cas, il pourra exister en solution à l'état colloïdal, sous forme de complexes organiques ou minéraux, notamment si des polyphosphates sont utilisés dans le traitement de l'eau.

Dans les zones alluvionnaires, l'eau extraite de la nappe peut avoir une teneur en fer et éventuellement en manganèse supérieure à l'eau infiltrée à partir du cours d'eau ; ceci peut s'expliquer par la concentration d'ions métalliques au niveau des boues tapissant le lit des rivières.

Dans cette zone, l'activité cellulaire développe une anaérobiose conduisant à la réduction du fer et du manganèse et à leur solubilisation. Ces éléments peuvent précipiter par réoxydation à l'émergence.

Les effets toxiques liés à la quantité de fer alimentaire ingérée peuvent apparaître au-delà de 20 mg/kg de poids corporel. La dose létale chez l'homme est estimée à 250 mg/kg. Indépendamment d'une saveur désagréable pouvant être perçue à partir de 0,05 mg/L, le fer développe dans l'eau une turbidité rougeâtre peu engageante pour le consommateur. Enfin, les eaux ferrugineuses ont l'inconvénient de tacher le linge. Il existe certaines bactéries très avides de fer : ces ferrobactéries se fixent sur les parois des canalisations et entraînent des phénomènes de corrosion avec formation de concrétions volumineuses et dures.

IV.4.4. Cuivre

Le cuivre est présent dans la nature sous forme de minerais de cuivre natif, de minerais oxydés ou sulfurés; à l'air, il se recouvre d'une mince couche de carbonate basique. En métallurgie il entre dans de nombreux alliages parmi lesquels le laiton (cuivre et zinc), le bronze (cuivre et étain), le maillechort (cuivre, nickel et zinc). En raison de ses propriétés de bon conducteur de la chaleur et de l'électricité, les usages du cuivre sont très répandus.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

Les sels de cuivre (sulfate, acétate, dérivés organiques) sont utilisés comme fongicides ou algicides en agriculture, pour les traitements chimiques de surface, pour le tannage des peaux, la fabrication de céramiques et de peintures. L'intoxication par les sels métalliques, d'origine accidentelle le plus souvent, se traduit par un syndrome digestif et hémolytique accompagné d'une tubulonéphrite. Biologiquement, ce métal joue un rôle important dans différents métabolismes et dans la synthèse de l'hémoglobine.

Les besoins quotidiens d'un adulte sont estimés à 2 mg. Le cuivre peut se rencontrer dans certaines eaux naturelles généralement à des teneurs inférieures à 1 mg/L sous forme ionique ou de complexes (cyanures, ammoniacale, produits organiques, etc.). En dehors de pollutions industrielles ou de traitements agricoles, ce métal provient habituellement de la corrosion des tuyauteries de distribution (0,5 à 1 mg/L), plus rarement il constitue le résidu d'un traitement des algues par les sels de cuivre.

IV.4.5. Le cadmium

Le cadmium est un métal d'un blanc argenté, brillant mais qui se ternit; il est malléable et ductile, il ressemble beaucoup au zinc et le remplace isomorphiquement dans presque tous ses minerais.

Le cadmium est un élément assez rare. Il est réparti uniformément dans la croûte terrestre, où sa concentration moyenne serait de 0,15 à 0,2 mg/kg. La proportion de cadmium par rapport au zinc peut varier considérablement dans la plupart des minéraux et des sols. Dans la nature, on le trouve sous forme de divers composés minéraux et de complexes des chélateurs naturels; les composés organocadmiés, extrêmement instables, n'ont pas été détectés dans le milieu naturel. Bien que le cadmium ne trouve des applications utiles que depuis une époque assez récente, les métaux qu'il accompagne généralement, comme le cuivre, le plomb et le zinc, sont employés depuis plusieurs millénaires. Par conséquent, la contamination de l'environnement s'est produite tout au long de cette période. Les nouvelles utilisations du cadmium n'ont fait qu'aggraver cette diffusion du métal.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

Outre la contamination résultant de ses applications connues ou de celles de ses composés, sa présence accidentelle dans l'environnement sous forme d'articles galvanisés, de boues d'épuration et d'engrais ne peut qu'accroître la charge polluante du milieu qui nous entoure. On le qualifie d'élément à utilisation dispersive, en raison de son introduction sans retenue dans l'environnement.

Ce sont les déchets industriels et les ordures ménagères qui constituent les principales sources de pollution par le cadmium.

La présence de cadmium dans les végétaux peut provenir du dépôt d'aérosols de ce métal sur les feuilles et autres parties aériennes, et de l'absorption, par les racines, du cadmium du sol. Les plantes en accumulent diverses quantités par cette dernière voie, et leur tolérance à l'égard du cadmium du sol varie selon les espèces. Les données disponibles montrent que les concentrations normales de cadmium dans les aliments sont bien plus faibles que celles mesurées dans les plantes poussant dans des sols contaminés par ce métal ou à proximité d'usines qui en rejettent. Certains mollusques et crustacés, tels les crabes et les huîtres, peuvent accumuler des concentrations de cadmium extrêmement élevées dans certains tissus, même s'ils vivent dans des eaux à faibles teneurs. Les reins et le foie des porcs, des moutons et des bovins peuvent également concentrer ce métal.

IV.5. Le dosage du plomb, zinc, fer, cuivre et cadmium

A l'aide d'une spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme (SAA) et au niveau de laboratoire d'environnement à l'ALZINC nous avons déterminé le taux de plomb, zinc, fer, cuivre et le cadmium.

IV.5.1. Méthode par spectrophotométrie d'absorption atomique avec flamme

Cette méthode utilise la propriété qu'ont les atomes neutres d'absorber à une certaine longueur d'onde un quantum d'énergie. La spectrophotométrie d'absorption atomique avec flamme utilisée est représentée par la figure suivante :

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds



Figure (IV-9): spectrophotométrie d'absorption atomique avec flamme.

IV.5.1.1. Dosage du plomb

La teneur en plomb dans les eaux de distribution s'explique fréquemment par la présence de ce métal dans les canalisations ou dans les vannes ou autres accessoires que l'on trouve dans les réseaux. Plusieurs facteurs doivent être pris en compte, comme le pH et la température de l'eau. Le plomb peut se trouver sous plusieurs formes : soluble, particulaire et dépôt instable. Dans ces conditions et compte tenu de l'hétérogénéité de la teneur en plomb dans le temps, il y a lieu de prendre un certain nombre de précautions lors du prélèvement ; il convient de se rappeler qu'une canalisation de 20 mm de diamètre sur 100 m de longueur représente un volume d'environ 30 litres. Aussi, si l'on veut vider la canalisation interne d'un immeuble pour obtenir la qualité représentée par le réseau public, il faudra prendre la précaution de faire couler l'eau pendant plusieurs minutes. Bien que la technique de prélèvement ne soit pas encore normalisée, il est recommandé de faire le prélèvement en deux temps :

- Opérer un prélèvement sur les premières fractions obtenues après stagnation de l'eau dans la canalisation pendant une nuit, par exemple.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

- Faire couler un volume d'eau permettant d'atteindre directement le réseau public (5 minutes à plein débit, par exemple)

a) Matériel spécial

Spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de plomb ou d'une lampe à décharge (lampe EDL) et d'un ensemble nébuliseur-brûleur air-acétylène.

b) Réactifs

- ✓ Solution mère étalon de plomb à 100 mg/L :
 - Plomb pur.
 - Acide nitrique.
 - Eau permutée.

c) Mode opératoire

Dans une fiole jaugée de 100 ml, introduire 10 ml Solution mère étalon de plomb puis 10 ml d'échantillon.

Nébuliser la solution dans une flamme air-acétylène, en intercalant de l'eau permutée entre chaque échantillon. On effectuant les lectures à la longueur de 283.3 nm.

d) Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en milligrammes de plomb par litre

IV.5.1.2. Dosage du zinc

a) Matériel spécial

Spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de zinc et d'un ensemble nébuliseur-brûleur air-acétylène.

b) Réactifs

- ✓ Solution mère étalon de zinc à 100 mg/L :
 - Zinc pur.
 - Acide nitrique.
 - Eau permutée.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

c) Mode opératoire

Dans une fiole jaugée de 100 ml, introduire 10 ml Solution mère étalon de zinc puis 10 ml d'échantillon.

Nébuliser la solution dans une flamme air-acétylène, en intercalant de l'eau permutée entre chaque échantillon. On effectuant les lectures à la longueur de 213.86 nm.

d) Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en milligrammes de zinc par litre

IV.5.1.3. Dosage du fer

Le fer peut se rencontrer dans l'eau sous différentes formes. Dans les conditions habituelles, c'est-à-dire pour un pH variant entre 4,5 et 9, le fer soluble présent est généralement à l'état ferreux. Si le milieu est réducteur comme dans beaucoup d'eaux souterraines, le fer ferreux peut atteindre des teneurs élevées. En l'absence de complexes, le fer ferrique n'est soluble d'une façon significative qu'à des pH inférieurs à 3.

Pratiquement, les eaux superficielles n'en contiennent que très peu, rarement plus de 1mg/L. En effet, sous l'action de l'air, ou par addition de chlore, le fer est oxydé à l'état ferrique et peut être hydrolysé pour donner un hydroxyde de fer insoluble. C'est généralement sous cette forme qu'on le trouve dans les échantillons, sauf si le prélèvement a été pratiqué de telle façon qu'il ne se produise aucune oxydation.

a) Matériel spécial

Spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de fer et d'un ensemble nébuliseur-brûleur air-acétylène.

b) Réactifs

- ✓ Solution mère étalon de fer à 100 mg/L :
 - Fer pur.
 - Acide nitrique.
 - Eau permutée.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

c) Mode opératoire

Dans une fiole jaugée de 100 ml, introduire 10 ml Solution mère étalon de fer puis 10 ml d'échantillon.

Nébuliser la solution dans une flamme air-acétylène, en intercalant de l'eau permutée entre chaque échantillon. On effectuant les lectures à la longueur de 248.3 nm.

d) Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en milligrammes de fer par litre.

IV.5.1.4. Dosage du cuivre

Effectuer le dosage du cuivre dès le prélèvement car il a tendance à se fixer sur les parois des flacons. En cas d'impossibilité, acidifier l'échantillon au moment du prélèvement avec 5 ml d'acide chlorhydrique par litre d'eau.

a) Matériel spécial

Spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de cuivre et d'un ensemble nébuliseur-brûleur air-acétylène.

b) Réactifs

- ✓ Solution mère étalon de cuivre à 100 mg/L :
 - Cuivre pur.
 - Acide nitrique.
 - Eau permutée.

c) Mode opératoire

Dans une fiole jaugée de 100 ml, introduire 10 ml Solution mère étalon de cuivre puis 10 ml d'échantillon.

Nébuliser la solution dans une flamme air-acétylène, en intercalant de l'eau permutée entre chaque échantillon. À l'aide d'un programme AI1200 on effectuant les lectures à la longueur de 324.7 nm.

d) Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en milligrammes de cuivre par litre.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

IV.5.1.5. Dosage du cadmium

La limite de détection de la méthode par spectrophotomètre d'absorption atomique avec flamme est de $2\mu\text{g/L}$.

a) Matériel spécial

Spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de cadmium. D'une lampe au deutérium pour la correction du bruit de fond et d'un ensemble nébuliseur-brûleur air-acétylène.

b) Réactifs

- ✓ Solution mère étalon de cadmium à 100 mg/L .
- Cadmium pur.
- Acide nitrique.
- Eau permutée.

c) Mode opératoire

Dans une fiole jaugée de 100 ml , introduire 10 ml Solution mère étalon de cadmium puis 10 ml d'échantillon.

Nébuliser la solution dans une flamme air-acétylène, en intercalant de l'eau permutée entre chaque échantillon. À l'aide d'un programme AI1200 on effectuant les lectures à la longueur de 228.8 nm .

d) Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en milligrammes cadmium par litre.

Les différents résultats sont présentés par le tableau suivant :

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

Eléments	Eau brute	Eau traitée	Unité	Valeur maximale
Cadmium(Cd)	0.014	--	mg/ L	0.01
Fer (Fe)	--	--	mg/ L	0.3
Cuivre (Cu)	0.023	0.009	mg/ L	1.5
Plomb (Pb)	--	--	mg/ L	0.05
Zinc (Zn)	--	--	mg/ L	5

Tableau (IV-4) : La détection des métaux lourds au barrage SEKKAK.

IV.5.2.interprétation des résultats

a)Zinc

Pour la vie aquatique, le zinc présente une certaine toxicité, fonction de la minéralisation de l'eau et de l'espèce considérée. La toxicité pour le poisson s'exerce à partir de quelques milligrammes par litre. Dans l'eau de mer, la reconcentration par divers organismes (en particulier les moules) a été bien établie. Pour l'usage agricole, le dépérissement des plantes peut intervenir à partir de 5 mg/L. Pour l'eau destinée à la consommation humaine, l'OMS recommande comme valeur limite pour le zinc 3 mg/L. la réglementation algérienne fixe comme valeur limite 5mg/L.

Pour l'eau étudiée la teneur en zinc est nulle pour le premier et le deuxième échantillon, ce qui répond aux normes.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

b) Plomb

L'OMS, indique comme pour les eaux destinées à la consommation humaine, une concentration maximale admissible de 0,05 mg/L. Elles précisent que dans le cas de canalisations en plomb, la teneur en plomb ne devrait pas être supérieure à 0,05 mg/L dans un échantillon prélevé après écoulement. Si l'échantillon est prélevé directement ou après écoulement et que la teneur en plomb dépasse fréquemment ou sensiblement 0,1 mg/L, des mesures appropriées doivent être prises afin de réduire les risques d'exposition du consommateur. La réglementation algérienne retient cette même valeur de 0.05 mg/L. Le cas de notre eau ou on a constaté l'absence de plomb donc elle reste dans les normes de potabilité.

c) Fer

L'OMS recommande une valeur guide de 0,3 mg/L. La réglementation algérienne retient cette même valeur de 0,3 mg/L. En fait, si l'on veut éviter tous les inconvénients (goût, couleur, précipité, taches sur le linge), l'eau de distribution ne devrait pas avoir une teneur en fer supérieure à 0,05 mg/L.

L'élimination du fer peut se faire par oxydation-aération suivie d'une filtration ou par oxydation biologique.

Pour notre analyse la concentration est nulle pour l'eau brute et eau traitée ceci répond aux normes prescrites.

d) Cuivre

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, l'OMS recommande une valeur guide provisoire de 2 mg/L compte tenu des incertitudes de la toxicité du cuivre pour l'homme. Toutefois, elle précise que des risques de taches sur les appareils sanitaires peuvent apparaître pour des teneurs supérieurs à 1 mg/L.

La réglementation algérienne retient comme valeur limite 1.5 mg/L. Cette valeur a été retenue plutôt en raison de la saveur que de la toxicité qui, relativement faible pourrait permettre des doses plus élevées surtout si on les compare aux quantités journallement introduites par l'alimentation. Pratiquement, la saveur métallique et astringente des sels de cuivre apparaît pour des doses de 4 à 5 mg/L.

Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

Les valeurs retrouvées pour notre eau sont bien inférieures aux normes prescrites, elles sont de 0.023 mg/L pour l'eau brute et de 0.009 mg/L pour l'eau traitée.

e) Cadmium

La coagulation au sulfate ferrique en élimine plus de 90 % du cadmium à un pH dépassant 8, mais seulement 30 % au pH 7.

La réglementation algérienne retient comme valeur limite 0.01 mg/L. Bien que notre résultat est de 0.014 mg/L pour l'eau brute est qui dépasse un peu la concentration maximale et nulle pour l'eau traitée ce qui conforme aux normes prescrites.

IV.6. Conclusion

Dans la nature, l'eau est une véritable source de vie, mais elle peut véhiculer beaucoup de maladies dont certaines peuvent être mortelles. L'exploitation des eaux de surface nous oblige à traiter ces eaux pour les rendre potables tout en préservant leurs qualités physicochimiques et le contrôle de la présence des métaux lourds.

Les analyses physico-chimiques montrent que l'eau de consommation provenant du barrage Sekkak a :

- ✚ Une dureté moyenne.
- ✚ Une forte minéralisation.
- ✚ Une concentration en ions chlorure proportionnellement élevée pour l'eau brute.

Les résultats des analyses des métaux lourds ont montré l'absence totale de fer, zinc et de plomb et avec une présence de cadmium au l'eau brute et de cuivre dans les deux échantillons mais leurs existence est dans les normes.

On peut dire que l'eau de consommation provenant du barrage de Sekkak est une eau fortement minéralisée de bonne qualité et ne présente aucun danger pour la consommation humaine.

Références bibliographiques

- [1] **Basma khadro**, conception et réalisation de biocapteurs pour le suivi de polluants dans les eaux naturelles, N° d'ordre 284-2008, p115.
- [2] **Ghaouti Selka, Djamel.E.Kerdal**, évaluation des effet environnementaux du barrage Sekkak sur la plein du Ain Youcef, 2005, p2.
- [3] **El khlifi Mohammed, Hachemaoui Boubekur**, étude de la qualité physico chimique et bactériologique des eaux de consommation de Ain Yousef provenant du barrage de sekkak, 2008, p32-p36.
- [4] **Jean Rodier**, L'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer) , 8^{ème} édition.
- [5] **M. Di Benedetto**, Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation (les métaux lourds), 1997, p8-p9.