

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REpubLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العلي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة  
UNIVERSITE 20 AOUT 1955- SKIKDA



Faculté des Sciences

Département des Sciences de la Nature et de la Vie Mémoire

Présenté en Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Écotoxicologie Animale

Intitulé :

**État des eaux de surface contaminés par les éléments traces métalliques d'une mine abandonnée : le cas de la mine de Boudoukha (NE Algérien)**

Présenté par : Makhlouf Assala  
Mecisseha Hanane  
Zouaghi Nada  
Berkane Rayen

**Membre de Jury :**

Dr. ZAOUI Lilia	Présidente	MCA	Univ. 20 Août 1955 – Skikda
Dr. BOUDEFFA Khaled	Promoteur	MCA	Univ. 20 Août 1955 – Skikda
Dr. FEKRACHE Fadila	Examinatrice	MCA	Univ. 20 Août 1955 – Skikda

**Année universitaire 2023/2024**

## *Remerciement*

*Tout d'abord, louange à « Allah » qui m'a guidé sur le droit chemin tout au long du travail et m'a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pas abouti.*

*Je tiens à exprimer toute mes reconnaissances et remerciements au Dr. BOUDEFFA Khaled ; maitre de conférence B au département de Biologie, Faculté des sciences, Université 20 aout 1955 à Skikda, pour avoir accepté la charge d'être le directeur de ce mémoire. Je la remercie pour sa disponibilité, ses pertinents conseils, ses orientations et pour les efforts qu'elle avait consentis durant la rédaction de ce mémoire, ainsi pour son soutien moral et scientifique qui m'a permis de mener à terme ce projet.*

*Mes Remerciements vont également à Dr. ZAOUI Lilya ; Professeur au département de Biologie, Faculté des sciences, Université 20 aout 1955 à Skikda, qui m'a fait l'honneur de présider le jury qui va juger ce travail.*

*J'adresse mes remerciements à Dr. FEKKRACHE Fadila ; Maître de Conférences A au département de biologie, Faculté des sciences, Université 20 aout 1955 à Skikda pour sa disponibilité à juger ce travail.*

*Je remercie tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

# Dédicace

A l'aide de **Dieu** tout puissant, qui m'a tracé le chemin de ma vie, J'ai pu réaliser ce travail que je dédie à

"À **moi-même**, pour tous les défis surmontés, les rêves poursuivis et les moments précieux partagés avec ceux que j'aime. Je suis fière de qui je suis devenue et confiante en l'avenir que je construis."

Mon père **Rachid** qui m'a encouragé et conseillé, tous les mois ne Puissent exprimer mon amour, ma gratitude et mon respect. Que Dieu le tout puissant te procure, santé et longue vie.

A ma mère **Souad** pour son amour inestimable, sa confiance, son Soutien, ces sacrifices et toutes les valeurs qu'elle m'inculqué.

Mes chères sœurs : **Chaïma et Boutha** qui étaient toujours là pour m'écouter, me reconforter et m'encourager dans les moments de difficulté.

A mes petits neveux **Younes et Idris**, Avoir un neveu est le plus beau cadeau qu'un frère puisse vous faire.

A mes chère amies : **Rania et Ines**, A mon binôme **Nada**

A mes grands-parents et toute **ma famille**.

A toute personne ayant participé de près ou de loin, à la réalisation de ce travail, à me soutenir et me donner force dans les moments difficiles.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux elle fruit de votre soutien infaillible.

Merci d'être toujours là pour moi.

*Rayen*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail et ma profonde gratitude :*

**A ma maman, pour son amour, toute l'énergie qu'elle a dépensée et  
Tous les sacrifices qu'elle a faits pour nous, merci de m'avoir  
encouragé à réaliser mes rêves**

**A mon papa, merci pour son amour, et ses encouragements. Merci  
d'avoir toujours voulu ce qu'il y a de mieux pour moi, que dieu les  
garde toujours en bonne sante**

***A mes chères sœurs : Meyssa et djihen qui m'encourageaient tous  
le temps et me poussaient vers le mieux***

***A mes chers neveux : firass et koussai***

***A mes chères copines, avec laquelle j'ai partagé les bons et les  
mauvais moments : bicha, wissal, meyssoun, rayen***

***A mes tantes : Soulef et Amel***

**À mes chers grands-parents, sources d'inspiration et d'amour  
inconditionnel**

***A toute la famille « zouaghi » et « nouadi »***

**A tous ceux que j'aime...**

*Nada*

# *Dédicace*

من قال انا لها "نالها"  
وانا لها وان ايت رغا عنها اتيت بها  
فالحمد لله الجي بنعمته تتم الصالحات

Tout d'abord louange à "Allah" qui m'avoir donné la volonté, santé et le courage pour réaliser ce travail

Je dédie ce projet :

**A ma chère mère warda,**

**A mon cher père farid,**

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

**A mes frères, Walid et Ramzi**

**A ma chère sœur Ghoufrane**

Pour ces soutiens moraux et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

**A ma chère binôme, Hanane**

Pour son entente et sa sympathie.

**A toute ma famille,**

Qui m'a aidé et supporté dans les moments difficiles.

**A mes chères amies,**

Qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

Un merci très spécial au plus beau et à la meilleure doctorante : **DJEMLI Mebarka.**

*Assala*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail et ma profonde gratitude :  
A celle qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, à  
toi chère maman toutes mes joies, mon amour et ma  
reconnaissance.*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon  
soutien moral et source de joie et de bonheur que dieu  
te garde toujours pour moi ; à toi mon père.*

*A mes sœurs : Nor Imen qui m'encourage tout le  
temps et me poussaient vers le mieux et kaoutar merci  
beaucoup pour votre soutien continu.*

*A mon soutien dans cette vie à mon frère : Yaakoub*

*A mon cher binôme, Assala.*

*A ma famille, mes grands-parents, mes proches et à  
ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.*

*A mes amis, Rania et Takoua*

*HANANE*

### **Résumé**

Cette étude évalue l'état physico-chimique et la contamination métallique des eaux au voisinage des mines de Boudoukha abandonnées dans les wilayas de Skikda à l'est de l'Algérie, et s'attache en particulier à l'indice de l'évaluation de la qualité des eaux.

Les différents résultats des analyses physicochimiques des eaux ont montré que la majorité des échantillons ne sont pas conforme aux normes recommandées, et les résultats des dosages des métaux lourds ne sont pas dans l'intervalle autorisé.

Nous avons effectué onze prélèvements d'eau pendant une période pluvieuse pour maximiser la détection des contaminants, la majorité des stations indiquent une qualité très mauvaise et non potables avec forte pollution présentent à les stations 2, 3, 4, 5,11 et une faible pollution au niveau de S7.

Le suivi des indices de qualité des eaux (IQE) au cours de cette étude montre que les eaux superficielles de la mine abandonnée de Boudoukha restent à 95% de mauvaise qualité.

**Mots clés** : Eau, Site minier, Boudoukha, Traces métalliques, Contamination.

### **Abstract**

This study evaluates the metal contamination of water in the vicinity of abandoned Boudoukha mines in the wilayas of Skikda in eastern Algeria, and focuses in particular on the water quality assessment index.

The different results of the physicochemical analyses of the water showed that the majority of the samples do not comply with the recommended standards, and the results of the heavy metal assays are not within the allowed interval.

We took eleven samples of water during a rainy period to maximize the detection of contaminants, the majority of stations indicate a very poor and non-potable quality with high pollution present at stations 2, 3, 4, 5,11 and low pollution at S7.

Monitoring of water quality indices (WQI) during this study shows that the surface waters of the abandoned Boudoukha mine remain at 95% poor quality.

**Keywords:** Water, Mine site, Boudoukha, Metal traces, Contamination.

---

---

### الملخص

تقيم هذه الدراسة تلوث المياه بالمعادن بالقرب من مناجم بودوخة المهجورة في ولايات سكيكدة في شرق الجزائر، وتركز بشكل خاص على مؤشر تقييم جودة المياه.

أظهرت النتائج المختلفة للتحليلات الفيزيائية الكيميائية للمياه أن غالبية العينات لا تتوافق مع المعايير الموصى بها، ونتائج اختبارات المعادن الثقيلة ليست ضمن الفترة المسموح بها.

أخذنا إحدى عشرة عينة من المياه خلال فترة الأمطار لتعظيم اكتشاف الملوثات، وتشير غالبية المحطات إلى جودة رديئة للغاية و غير صالحة للشرب مع وجود تلوث كبير في المحطات 2، 3، 4، 5 وانخفاض التلوث في المحطة 7 .

خلال هذه الدراسة أن المياه السطحية لمنجم بودوخة المهجور لا تزال رديئة الجودة (WQI) يُظهر رصد مؤشرات جودة المياه بنسبة 95%.

**الكلمات المفتاحية:** الماء، مناجم مهجورة، بودوخة، اثار معدنية، تلوث

---

## Liste des abréviations

**As** : arsenic

**Ca<sup>2+</sup>** : calcium

**Cd** : cadmium

**CE** : conductivité électrique

**CO<sub>2</sub>** : dioxyde de carbone dessous

**CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>** : carbonate

**Cr** : chrome

**Cu** : cuivre

**DCO** : la demande chimique en oxygène

**DMA** : drainage minier acide

**DNC** : drainage neutre contaminé

**EDTA** : éthylène-diamine tétra acétique

**EIE** : évaluation d'impact environnementale

**ETM** : élément trace métallique.

**Fe** : fer

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : bicarbonate

**Hg** : mercure

**Hg** : mercure

**IC** : carbone inorganique

**IQE** : indice de qualité des eaux

**MES** : matière en suspensions

**Mg<sup>2+</sup>** : magnésium

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** : l'ion ammonium

**Ni** : nickel

**NO<sub>2</sub><sup>-</sup>** : nitrite

**O<sub>2</sub>** : oxygène dessous

**OMS** : organisation mondiale de santé

**Pb** : plombe

**PH** : potentiel d'hydrogène

**TDS** : total des solides dessous

**TH** : dureté totale

**TOC** : carbone organique totale

**Wi** : Le poids relatif

**Zn** : zinc

## Liste des figures

<b>Figure 01.</b> Photographie d'utilisation des engrais azotés.....	2
<b>Figure 02.</b> Photographie des polluants urbains.....	3
<b>Figure 03.</b> Image satellitaire de la situation géographique de la mine de Boudoukha.....	11
<b>Figure 04.</b> Carte de localisation des stations de prélèvement.....	12
<b>Figure 05.</b> Photographie de Spectrophotomètre.....	17
<b>Figure 06.</b> Photographie de l'analyseur de la demande chimique en oxygène.....	18
<b>Figure 07.</b> Photographie de l'appareil de détermination de la teneur en carbone organique totale.....	19
<b>Figure 08.</b> Photographie de spectrophotomètre à absorption atomique à flamme.....	23
<b>Figure09.</b> Résultats d'évolution de pH des différents échantillons d'eaux.....	25
<b>Figure 10.</b> Résultats d'évolution de la conductivité ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) des différents échantillons d'eaux.....	25
<b>Figure 11.</b> Résultats d'évolution de la TDS (mg/l) des différents échantillons d'eaux....	26
<b>Figure 12.</b> Résultats d'évolution de la turbidité des différents échantillons d'eaux.....	27
<b>Figure 13.</b> Résultats d'évolution de l'oxygène dissous (mg/l) des différents échantillons d'eaux.....	27
<b>Figure 14.</b> Résultats d'évolution de la dureté (mg/l) des différents échantillons d'eaux	28
<b>Figure 15.</b> Résultats d'évolution de calcium (mg/l) et Magnésium (mg/l) des différents échantillons d'eaux.....	29
<b>Figure 16.</b> Résultats d'évolution du la TOC et l'IC en ppm des différents échantillons d'eaux.....	29
<b>Figure 17.</b> Résultats d'évolution de MES (mg/l) des différents échantillons d'eaux.....	30
<b>Figure 18.</b> Résultats d'évolution de la DCO (mg/l) des différents échantillons d'eaux..	31
<b>Figure 19.</b> Résultats d'évolution de nitrogène (mg/l) des différents échantillons d'eau	31
<b>Figure 20.</b> Résultats d'évolution de nitrite (mg/l) des différents échantillons d'eaux.....	32
<b>Figure 21.</b> Résultats d'évolution de nitrate (mg/l) des différents échantillons d'eaux....	33
<b>Figure 22.</b> Résultats d'évolution de phosphate (mg/l) des différents échantillons d'eaux.....	33
<b>Figure 23.</b> Résultats d'évolution de sulfate (mg/l) des différents échantillons d'eaux....	34
<b>Figure 24.</b> Résultats d'évolution de zinc (mg/l) des différents échantillons d'eaux.....	35
<b>Figure 25.</b> Résultats d'évolution de fer (mg/l) des différents échantillons d'eaux.....	35
<b>Figure 26.</b> Résultats d'évolution de cuivre (mg/l) des différents échantillons d'eaux.....	36
<b>Figure 27.</b> Résultats d'évolution de plomb (mg/l) des différents échantillons d'eaux....	36
<b>Figure 28.</b> Résultats d'évolution de chrome (mg/l) des différents échantillons d'eaux...	37
<b>Figure 29.</b> Résultats d'évolution de cadmium (mg/l) des différents échantillons d'eaux	38

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01.</b> Effets majeurs toxiques et écotoxiques des éléments traces métalliques....	7
<b>Tableau 2.</b> Classification et usage possible de l'eau selon l'IQE.....	24
<b>Tableau 03.</b> Poids des paramètres physicochimiques et normes algériennes de la qualité des eaux superficielles.....	39
<b>Tableau 04.</b> Calcul de l'indice IQE et classe de qualité des eaux superficielles de Boudoukha.....	40

---

<b>Sommaire</b>	
Introduction.....	01
<b>Chapitre I : Synthèse bibliographique</b>	
<b>Partie 01 : Pollution des eaux naturelles</b>	
1. Définition.....	03
2. Pollution des eaux.....	03
2.1. Origines de la pollution des eaux.....	03
2.1.1. Pollution agricole.....	03
2.1.2. Pollution urbaine.....	04
2.1.3. Pollution industrielle.....	04
2.1.4. Pollution naturelle.....	04
<b>Partie 02 : Les métaux lourds</b>	
1. Définition.....	06
2. Origine des métaux lourds.....	06
2.1. Les sources naturelles.....	06
2.2. Les sources anthropiques.....	06
3. Classification des métaux lourds.....	06
3.1. Métaux essentiels.....	07
3.2. Métaux non –essentiels (métaux toxiques).....	07
4. Toxicité des métaux lourds.....	07
5. Principaux dangers des métaux lourds.....	07
5.1. Contamination de l’environnement .....	07
5.1.1. Contamination des eaux par ETM.....	07
5.2. Impact des éléments traces métalliques sur la santé humaine.....	08
<b>Partie 03 : les sites miniers</b>	
1. Définition .....	09
2. Fermeture de la mine.....	09
3. Impact d’exploitation minière sur l’Environnement.....	09
4. Impact d’exploitation minière sur l’eau.....	10
<b>Chapitre II : Matériel et méthodes</b>	
1. Présentation de la région de Boudoukha.....	11
1.1. Historique de la mine de Boudoukha.....	11
1.2. Situation géographique.....	11
1.3. Climatologie .....	12
1.4. Végétation.....	12
1.5. Hydrologie.....	12
2. Echantillonnage et technique de prélèvement.....	12
2.1. Station de prélèvement.....	12
2.2. Prélèvement et conservation .....	13
3. Méthode d’analyse d’eau.....	13
3.1. Potentiel hydrique (pH) .....	13
3.2. La conductivité électrique (CE) .....	13
3.3. Totale des solides dissous (TDS).....	14
3.4. Turbidité.....	14
3.5. Dureté totale (TH).....	15

---

---

3.6.	Calcium et Magnésium.....	15
3.7.	L'oxygène dissous .....	16
3.8.	Matière en suspension (MES).....	16
3.9.	La Demande Chimique en Oxygène (DCO) .....	17
3.10.	TOC / IC .....	18
3.11.	Nitrogène.....	19
3.12.	Nitrite .....	19
3.13.	Nitrate.....	20
3.14.	Phosphate.....	21
3.15.	Sulfate.....	22
3.16.	Dosage des métaux lourds.....	22
4.	Calcul d'indice de qualité des eaux.....	23
<b>Chapitre III : Résultats et discussion</b>		
1.	Paramètres physicochimiques des eaux de surface.....	25
1.1.	Le potentiel d'hydrogène (pH) .....	25
1.2.	La conductivité électrique (CE) .....	25
1.3.	TDS.....	26
1.4.	Turbidité .....	27
1.5.	L'Oxygène dissous.....	27
1.6.	Dureté.....	28
1.7.	Calcium (Ca <sup>2+</sup> ) et magnésium (Mg <sup>2+</sup> ).....	29
1.8.	Le carbone organique total (TOC) et le carbone inorganique (IC).....	29
1.9.	Matière en suspension (MES).....	30
1.10.	Demande chimique en oxygène .....	31
1.11.	Nitrogène .....	31
1.12.	Nitrite.....	32
1.13.	Nitrate.....	33
1.14.	Phosphate.....	33
1.15.	Sulfate .....	34
1.16.	Zinc.....	35
1.17.	Fer.....	35
1.18.	Le cuivre .....	36
1.19.	Plomb .....	36
1.20.	Chrome .....	37
1.21.	Cadmium .....	38
2.	Calcul d'indice de qualité des eaux.....	38
Conclusion.....		41
Références bibliographiques.....		42

---

## Introduction

L'eau est une ressource naturelle indispensable pour la survie de l'humanité et de toute espèce animale ou végétale et pour l'environnement. Aucune substance ne peut remplacer l'eau c'est pourquoi elle a besoin d'être protégée, traitée et économisée. Une eau est dite potable si elle respecte les valeurs imposées par la loi de portabilité traduite par des normes. La norme pour un paramètre dans l'eau est représentée par un chiffre, qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser et une limite inférieure à respecter. **(Boeglin Jean-Claude, 2008)**

Les activités anthropiques à caractère socio-économique couples à celles des processus naturels (érosion des sols, précipitation, évaporation, ruissellement des eaux fluviales) accélèrent la dégradation des ressources en eau de surface **(Aw et al, 2011)**.

L'activité humaine principalement responsable de la contamination des eaux de surface par les éléments traces métalliques d'une mine abandonnée est l'exploitation minière. Lorsqu'une mine est abandonnée, les éléments métalliques contenus dans le sol peuvent être libérés dans l'environnement, notamment lors de phénomènes d'érosion et de lessivage. Les métaux toxiques comme le plomb, le cuivre, le zinc ou le mercure peuvent alors se retrouver dans les cours d'eau et les lacs à proximité, causant des dommages à la biodiversité aquatique et représentant un risque pour la santé humaine. Il est donc essentiel de mettre en place des mesures adéquates pour prévenir la contamination des eaux de surface par les éléments traces métalliques, que ce soit en amont lors de l'exploitation minière ou en aval pour la réhabilitation des sites abandonnés **(Ramos et al., 1994)**.

La mine de Boudoukha, comporte deux filons principaux et quelques filons secondaires dont la minéralisation est constituée par la blende, galène, un peu de la pyrite et de chalcopyrite. Ils sont caractérisés par leur régularité et leur étendue. Ces filons ont été découverts en 1900 : suite au tracé de la route EL-Milia-Tamalous. L'exploitation à commencer en 1910, avec l'installation d'une laverie très complète et trois sections de cribles à cinq compartiments. Par la suite il y a eu installation d'une usine de flottation sélective mais sans résultat. Ce n'est que vers 1945-1946 que les mines furent fermées. Vers les années 1970 L'E.R.E.M a effectué des travaux de prospection notamment l'implantation de sondages afin de délimités les corps minéralisés et d'en estimer les réserves. La région de Boudoukha est caractérisée par la présence des filons de quartz à minéralisation sulfurée polymétallique (Cu, Zn, Pb, Fe, Ag, ....). Ces filons sont encaissés dans le corps grandioritique de Boudoukha ainsi que dans les formations du socle **(Bouftouha, 2000)**.

De ce fait, les résidus miniers abondants qu'il a engendrés ont été disposés en haldes et verses qui n'ont fait l'objet d'aucune réhabilitation sur le plan environnemental. (**Boutaleb et al., 2015**)

Les éléments traces métalliques (ETM) font partie des substances chimiques qui constituent un danger pour l'environnement et la santé des êtres vivants, en particulier dans les milieux aquatiques (**Khemis et al., 2017**). Certains métaux sont purement toxiques pour les êtres vivants en raison de leur capacité de bioaccumulation et de leur persistance dans l'environnement. (**Saher et Siddiqui, 2016**).

Notre étude est portée sur la caractérisation des eaux de surface autour de la mine abandonnée de Boudoukha. Pour se faire divers paramètres chimiques et physiques des échantillons recueillis.

Notre travail a été représenté en trois chapitres :

- Le premier chapitre est une synthèse bibliographique composée de trois parties :

Partie 01 : Pollution des eaux naturelles

Partie 02 : Les métaux lourds

Partie 03 : les sites miniers

- Le deuxième chapitre est une partie expérimentale comprenant matériel et méthodes analytiques.
- Le troisième chapitre est consacré à une discussion de tous les résultats obtenus, Clôturé par une conclusion.

## **Chapitre I : Synthèse bibliographiques**

### **Partie 01 : Pollution des eaux naturelles**

#### **1. Définition**

La pollution est l'introduction directe ou indirecte, par l'activité humaine, de substances de vibrations de chaleur ou de bruit dans l'air, l'eau ou le sol, susceptibles de porter atteinte à la santé humaine ou à la qualité de l'environnement, d'entraîner des détériorations aux biens matériels une détérioration ou une entrave à l'agrément de l'environnement ou à d'autres utilisations légitimes de ce dernier. (Cissé, 1999)

#### **2. Pollution des eaux**

La pollution de l'eau c'est la contamination de l'eau par des corps étrangers tels que des microorganismes, des produits chimiques, des déchets industriels ou autre. La pollution des eaux provient en partie des rejets urbains, du ruissellement des eaux pluviales et surtout des effluents issus des activités agricoles et industrielles. (Degremont, 1989)

#### **3. Les origines de pollution des eaux**

##### **3.1. Pollution agricole**

L'agriculture est la principale source de la pollution de l'eau, considérée, comme le premier utilisateur et consommateur d'eau. Elle a recouru à des produits chimiques : pesticides, insecticides désherbants, destructeurs divers de parasites des plantes et engrais azotés qui sont la principale source de nitrates (**fig.01**). Les quantités d'effluents d'élevage et d'engrais minéraux apportés aux cultures, demeurent largement excédentaires par rapport aux besoins. Ainsi l'agriculture produit différents déchets qui migrent dans l'eau et viennent perturber l'équilibre chimique et microbiologique des écosystèmes et les divers usages de l'eau. (Radoux *et al.*, 1995).



**Figure01.** Photographie d'utilisation des engrais azotés (Qureshi, 2018).

### 3.2. Pollution urbain (domestique)

Ce sont les eaux des habitations et des commerces qui entraînent la pollution urbaine de l'eau. Les polluants urbains sont représentés par les rejets domestiques, les eaux de lavage collectif et de tous les produits dont de débarrassent les habitants d'une agglomération (**fig.02**) notamment des rejets industriels rejetés par les entreprises en quantités variables selon l'importance de l'agglomération et son activité. (**Oubagha, 2011**).



**Figure02.** Photographie des polluants urbains (**Mehigueni, 2010**).

### 3.3. Pollution industrielle

Provenant des usines, la pollution industrielle est caractérisée par une grande diversité. Tous les produits ou sous-produits de l'activité humaine, se retrouvent dans l'eau, qui est un bon solvant matières organiques et graisses (industries agro-alimentaires) hydrocarbures (raffineries) métaux (métallurgie) acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries) eaux chaudes (circuit de refroidissement des centrales thermiques). L'extrême diversité des rejets industriels nécessite une investigation propre à chaque type d'industrie (**Boeglin, 1999**).

### 3.4. Pollution naturelle

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

## *Chapitre I : Synthèse bibliographique*

---

Du fait qu'il est impossible de dégrader ou de détruire les métaux lourds, ils ne sont pas décomposés et s'accumulent dans le corps humain ; ils se concentrent dans le foie, les reins le cerveau, le squelette et les tissus kératinisés tels que les cheveux et les ongles. L'exposition aux métaux lourds a été liée aux troubles du développement, à divers cancers, à l'atteinte rénale et même dans certains cas à la mort. **(Hammi, 2010)**

### Partie 02 : Les métaux lourds

#### 1. Définition

Les métaux lourds sont parmi les contaminants majeurs de l'environnement, posent de sérieux problèmes écologiques, tant par le caractère ubiquiste de leur présence au sein de la biosphère que par leur forte rémanence, leur transfert potentiel vers les organismes vivants et leur toxicité élevée (**Kabata-Pendias *et al.*, 2007**).

D'un point de vue physique, le terme « métaux lourds » désigne les éléments métalliques naturels métaux ou dans certains cas métalloïdes (environ 65 éléments). D'un autre point de vue biologique on en distingue deux types en fonction de leurs effets physiologiques et toxiques : métaux essentiels et métaux toxiques. (**Adriano, 2001**).

#### 2. Origine des métaux lourds

##### 2.1. Les sources naturelles

Les métaux lourds sont présents naturellement dans les roches, ils sont libérés lors de l'altération de celles-ci pour constituer le fond géochimique (**Bourelhier et Berthelin, 1998**).

Parmi les importantes sources naturelles, citons l'activité volcanique, l'altération des continents et les incendies de forêts. La contribution des volcans peut se présenter sous forme d'émissions volumineuses dues à une activité explosive, ou d'émissions continues de faible volume, résultant notamment de l'activité géothermique et du dégazage du magma (**Afnor, 1988**).

##### 2.2. Les sources anthropiques

Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait des risques très supérieurs aux métaux d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes. (**Weiss *et al.*, 1999**)

#### 3. Classification des métaux lourds

La classification en métaux lourds est souvent discutée car certains métaux toxiques ne sont pas particulièrement "lourds" (le zinc) et certains éléments ne sont pas des métaux mais des métalloïdes (l'arsenic). Pour ces différentes raisons, la plupart des scientifiques préfère à l'appellation métaux lourds, celle de : "Éléments en Traces Métalliques" (ETM) ou par extension "éléments traces" (**Miquel, 2001**).

### **3.1. Métaux essentiels**

Ce sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques. Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), du nickel (Ni) du zinc (Zn), du fer (Fe), etc. **(Kabata-Pendias et Pendias, 2001)**.

### **3.2. Métaux non-essentiels (Métaux toxiques)**

Ont un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule. C'est le cas du plomb (Pb) du mercure (Hg), du cadmium (Cd). Le terme métaux lourds, « heavy metal » implique aussi une notion de toxicité **(Migeon, 2009)**.

## **4. Toxicité des métaux lourds**

Les métaux lourds peuvent s'introduire dans notre organisme par le biais des aliments (poisson viande et produits agricoles) et de l'eau potable, tandis que l'ingestion des fragments de peinture peut exposer les enfants au plomb. Le plomb, le mercure et le cadmium sont trois métaux lourds liés à des effets nocifs sur la santé de l'homme. Même une faible exposition à ces métaux, si elle est chronique, peut avoir de graves répercussions sur la santé. Du fait qu'il est impossible de dégrader ou de détruire les métaux lourds, ils ne sont pas décomposés et s'accumulent dans le corps humain ils se concentrent dans le foie, les reins, le cerveau, le squelette et les tissus kératinisés tels que les cheveux et les ongles. L'exposition aux métaux lourds a été liée aux troubles du développement à divers cancers, à l'atteinte rénale et même, dans certains cas, à la mort **(Hammi, 2010)**.

## **5. Principaux dangers des métaux lourds**

### **5.1. Contamination de l'environnement**

Les métaux lourds sont dangereux pour l'environnement car, ils ne sont pas dégradables. Ils s'accumulent au cours de processus minéraux et biologiques. Les métaux lourds peuvent également être absorbés directement par le biais de la chaîne alimentaire entraînant alors des effets chroniques ou aigus **(Robert et Juste, 1999)**.

#### **5.1.1. Contamination des eaux par ETM**

Les ETM exercent une pression chronique et diffuse dans les milieux aquatiques, pouvant conduire à des modifications de la biodiversité (pression de sélection de certaines espèces et extinction d'autres espèces) et entraîner de graves conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes comme

une réduction de la dégradation de la litière de feuilles, étape indispensable dans le cycle du carbone et des nutriments dans les rivières (Roussel *et al.*, 2008).

### 5.2. Impact des éléments traces métalliques sur la santé humaine

La contamination des aliments par les ETM a une série d'effets néfastes sur la santé humaine. Les métaux non-essentiels peuvent échapper aux mécanismes de contrôle et par la suite peuvent entraîner : la liaison avec des constituants cellulaires spécifiques, la compartimentation l'homéostasie, le dysfonctionnement des processus cellulaires, la détérioration oxydative. Ces métaux ont donc des effets très toxiques et mortels.

Les symptômes les plus importants de la toxicité des ETM chez l'homme sont : la déficience intellectuelle chez les enfants, les troubles du système nerveux central, la dépression chez les adultes l'insomnie, les pathologies des reins et du foie, l'instabilité émotionnelle et les troubles de la vision. Bien que la toxicité résultant d'une exposition soudaine ou professionnelle à des quantités importantes de métaux affecte généralement les systèmes organiques, la gravité de la toxicité dépend du type et de la forme des ETM, de la voie et de la durée d'exposition, ainsi que de la sensibilité de l'individu (Gupta *et al.*, 2019).

**Tableau 01.** Effets majeurs toxiques et écotoxiques des éléments traces métalliques (Sparks, 1998).

ETM	Effets sur la santé
As	Toxique , possible cancérigène
Cd	Hypertension, dommage sur le foie
Cr	Cansérigène sous forme de Cr
Cu	Peut toxique envers les animaux, écotoxique envers les plantes et les algues à des niveau modérés
Hg	Toxicité chronique et aigue
Ni	Allergies de peau , maladies respiratoire, possible cancérigène
Pb	Toxique
Se	Essentiel à faible doses, toxique à dose élevées
Zn	Ecotoxique pour les végétaux à de fortes teneurs

### **Partie 03 : Les sites miniers**

#### **1. Définition**

Un site minier est défini comme étant l'endroit où l'on extrait les minéraux ayant une valeur commerciale. Les matières résiduelles sont déposées dans les aires d'entreposage sous forme broyée (les rejets de concentrateur) ou simplement concassée (les stériles miniers). Chaque type de rejet est géré de façon spécifique, en fonction de ses propriétés, des caractéristiques de l'opération minière et des particularités du site. Les dimensions des composantes d'une mine sont toujours différentes d'une exploitation à l'autre.

Selon les composantes et les caractéristiques des matériaux traités, les effets sur l'environnement seront différents (**Aubertin et al., 2002**).

Par le passé, la pollution générée par ces sites abandonnés ou anciennes mines n'a pas été prise en charge par les entreprises minières ; malgré la loi n°03-10 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. Cette loi a pour objet la mise en œuvre d'une politique nationale de protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. Elle fixe les principes fondamentaux et les règles de gestion de l'environnement : la protection la restructuration et la valorisation des ressources naturelles, la restauration des milieux endommagés, la prévention et la lutte contre toute forme de pollution et nuisance, l'amélioration du cadre et de la qualité de la vie, la promotion de l'utilisation rationnelle des ressources naturelles disponibles sur l'environnement. Des minéraux présents dans ces rejets peuvent réagir avec l'eau et l'air et contaminer l'eau de drainage des haldes et, par le fait même, les milieux récepteurs. Ce type de contamination peut engendrer un drainage acide ou neutre ; on parlera alors soit de drainage minier acide (DMA) ou de drainage neutre contaminé (DNC) (**Bussière et al., 2004**).

#### **2. Fermeture de la mine**

Une étude des effets d'un projet minier se fera en dressant une évaluation d'impact environnemental (EIE) il existe quatre objectifs de fermeture universels et fondamentaux. Le paysage post-fermeture doit être physiquement stable, chimiquement stable, raisonnablement sûr et sain pour les humains la faune, l'environnement et l'écosystème (**Revuelta, 2018**).

#### **3. Impact d'exploitation minière sur l'Environnement**

L'impact de l'exploitation minière dépend de nombreux facteurs, en particulier le type d'exploitation minière et la taille de l'exploitation (**Bell et Donnelly, 2006**).

### **4. Impact d'exploitation minière sur l'eau**

La qualité de l'eau est vulnérable aux activités minières en raison de toutes les interconnexions naturelles des ressources en eau (eau de surface et eau souterraine). En effet, les exploitations minières recourent assez souvent au pompage des nappes phréatiques et au détournement des cours d'eau et la perturbation des réseaux hydrographiques (**Bell et Donnelly, 2006**). De plus, l'essor de l'industrie minière engendre une augmentation de la consommation en eau, notamment lors des phases d'extraction et de traitement des minerais. Les estimations mondiales de l'utilisation de l'eau par l'industrie minière vont de 7 à 9 milliards de m<sup>3</sup> par an (**Global Water Intelligence, 2011**). Ceci s'accompagne le plus souvent de nombreuses nuisances sur le milieu naturel à travers le déversement de substances toxiques et les drainages miniers acides (DMA) (**Jain et al ; 2010**).

## Chapitre II : Matériel et méthodes

### 1. Présentation de la région de Boudoukha

#### 1.1. Historique de la mine de Boudoukha

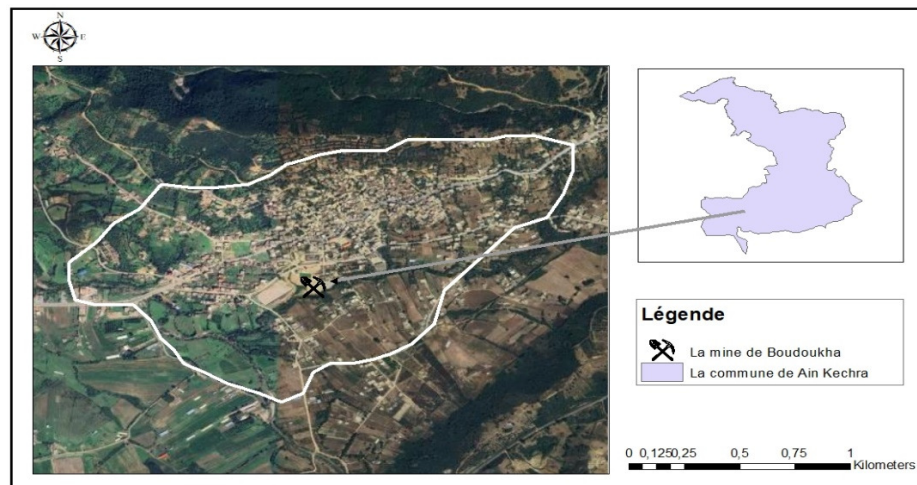
La mine de Boudoukha comporte deux filons principaux et quelques filons secondaires dont la minéralisation est constituée par la blende, galène, un peu de la pyrite et de chalcopryrite. Ils sont caractérisés par leur régularité et leur étendue. Ces filons ont été découverts en 1900, suite au tracé de la route EL-Milia-Tamalous.

L'exploitation à commencer en 1910, avec l'installation d'une laverie très complète et trois sections de cribles à cinq compartiments. Par la suite il y a eu installation d'une usine de flottation sélective mais sans résultat. Ce n'est que vers 1945-1946 que les mines furent fermées. Vers les années 1970 L'E.R.E.M a effectué des travaux de prospection notamment l'implantation de sondages afin de délimités les corps minéralisés et d'en estimer les réserves.

La région de Boudoukha est caractérisée par la présence des filons de quartz à minéralisation sulfurée polymétallique (Cu, Zn, Pb, Fe, Ag). Ces filons sont encaissés dans le corps grand dioritique de Boudoukha ainsi que dans les formations du socle (**Bouftouha, 2000**).

#### 1.2. Situation géographique

La mine abandonnée de Boudoukha trouvé à la sortie du village de Boudoukha, elle est située à 5km à l'ouest du village d'Ain-kechera (**Fig.03**), elle se trouve dans la partie sud de la petite Kabylie centrale et plus exactement dans la région des Béni-Tifout qui se localise à plus d'une cinquantaine de kilomètres à l'Est de Jijel.



**Figure 03.** Image satellitaire de la situation géographique de la mine de Boudoukha (**Google Earth, 2024**).

### 1.3. Climatologie

Un climat tempéré chaud est présent à Boudoukha. L'été, à Boudoukha, les pluies sont moins importantes qu'elles ne le sont en hiver. En moyenne la température à Boudoukha est de 17.6 °C. Il tombe en moyenne 964 mm de pluie par an (**Köppen, 2012**).

### 1.4. Végétation

La région de Boudoukha comme tout la Kabylie de Collo caractérisé par une couverte végétale de chênes lièges, chêne zen, pins maritimes...etc. Avec de veste plantation de lentisques, d'oliviers et autre arbre fruitier (**Bouttine et Serir, 2002**).

### 1.5. Hydrologie

Au Nord du gisement s'étend le massif montagneux de Béni Tiffout, au Sud c'est le massif Denaira qui fait un chaînon de crêtes numidiques. Entre ces deux massifs coule l'Oued Er Ressel, qui est un affluent de l'Oued Boussiaba qui se jette lui mémé dans l'Oued El kébir à 2Km au NW d'El Milia. La partie principale du gisement est située sur la colline KoudiatHarcha (267,7 m) perchée entre deux affluents de l'Oued Er Ressel ; l'Oued Chabet Hamada, qui est la route en partie. Sud du gisement et l'Oued Boudoukha au Nord des galeries principales (**Bourahla, 2011**).

## 2. Echantillonnage et technique de prélèvement

### 2.1. Station de prélèvement

Notre étude vise à caractériser les eaux de surface autour de la mine abandonnée de Boudoukha. Nous avons effectué 11 prélèvements (Fig.04) d'eau pendant une période pluvieuse pour maximiser la détection des contaminants. Cette approche permet d'évaluer l'impact environnemental des résidus miniers, en analysant divers paramètres chimiques et physiques des échantillons recueillis.

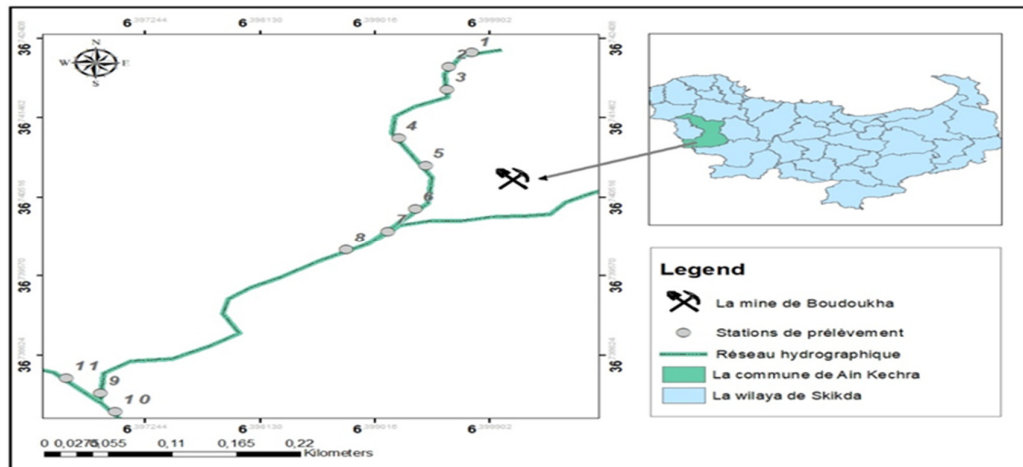


Figure 04. Carte de localisation des stations de prélèvement.

### **2.2. Prélèvement et conservation**

Pour effectuer l'échantillonnage de l'eau, nous avons utilisé des bouteilles jetables en polyéthylène de 1,5 L. Les flacons ont été débouchés au moment de la collecte, puis lavés et remplis avec l'eau du site d'échantillonnage. Un tissu de filtration à mailles fines a été utilisé pour éliminer les débris éventuels. Une fois remplis, les flacons ont été rebouchés, étiquetés et conservés à 4°C dans des glacières. Les échantillons ont été transportés aux laboratoires le plus rapidement possible de préférence dans les 24 heures suivant la collecte.

### **3. Méthode d'analyse d'eau**

#### **3.1. Potentiel d'hydrogène (pH)**

La mesure de pH est basée sur la différence de potentiel de l'électrode immergée par rapport à une référence et à une température donnée (**Rodier, 2009**).

##### **Mode opératoire**

- Laver soigneusement les électrodes avec l'eau distillée
- Immerger les électrodes dans l'échantillon agité.
- Effectuer la lecture du PH.

#### **3.2. La conductivité électrique (CE)**

La conductivité électrique d'une eau est donnée par le passage d'un courant électrique entre deux électrodes et elle est fonction directe de la concentration ionique de la solution. Sa détermination donne donc une mesure indirecte des substances dissoutes (**Rodier, 2009**).

##### **Mode opératoire**

- Mettre l'appareil sous tension.
- Allumer l'appareil en appuyant sur l'interrupteur se trouvant sur la face de l'équipement.
- Laver soigneusement les électrodes avec de l'eau distillée
- Immerger les électrodes dans l'échantillon agité.
- Sélectionner l'intervalle avec le bouton approprié.
- Lire la conductivité sur l'échelle.
- Le résultat est exprimé en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ou  $\text{M}\Omega/\text{cm}$ .

### 3.3. Total des solides dissous (TDS)

Détermination potentiométrique des ions des sels dans l'eau (Rodier, 2009).

#### Mode opératoire

- Mettre l'appareil sous tension.
- Allumer l'appareil en appuyant sur l'interrupteur se trouvant devant de l'équipement.
- Laver soigneusement les électrodes avec l'eau distillée
- Immerger les électrodes dans l'échantillon agité.
- Sélectionner la range avec le bouton approprié.
- Lire la TDS sur l'échelle.
- Le résultat est exprimé en mg/l.

### 3.4. La turbidité

Selon le centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (2009), la turbidité est un indice de la présence de particule en suspension dans l'eau. Elle est déterminée à l'aide d'une néphélométrie. Cet appareil mesure la lumière dispersée par les particules en suspension avec un angle de 90° par rapport au faisceau de lumière incident

#### Mode opératoire

- Presser la touche CAL ZERO (le voyant cal s'allume et le chiffre 00 s'affiche)
- Placer la cuvette de 30 ml d'eau déminéralisée (ED) dans le puits de mesure
- Presser ENTER et attendre 60 secondes ;
- Après le décompte, le résultat est mémorisé pour faire le calcul de correction
- La valeur 20,00 UTN s'affiche ainsi que #01 pour le premier étalon commercial
- Placer l'étalon de 20,00 UTN, presser sur la touche ENTER et attendre 60 secondes pour
- Que l'appareil puisse en enregistrer la valeur
- Retirer cet étalon et procéder ensuite de la même manière avec tous les étalons
- Commerciaux correspondant à la valeur indiquée par l'appareil. N'oublier pas de presser
- Sur la touche ENTER entre chaque étalon (un délai d'une minute s'applique à chaque mesure
- Après le dernier standard (1 000 UTN), l'appareil revient à 00 et la valeur de l'eau s'affiche.
- Si nécessaire, procéder à une calibration complète avec l'ensemble des solutions étalons
- Hach. Étalonner de 0,1 UTN à 4500 UTN ou 7500 UTN.

### **3.5. Dureté totale (TH)**

L'analyse du TH consiste à un titrage direct avec le sel disodique de l'acide éthylène-diamine tétra acétique (EDTA) du calcium et magnésium en présence de l'indicateur Eriochrome noir T qui en présence des ions Ca ++ et Mg ++ se colore en rouge cerise et vire au bleu quand la quantité de L'EDTA à suffisamment complexé tous ces ions (**ASTM International, 2017**).

#### **Mode opératoire**

- Prendre une prise d'essai de 100 cc d'échantillon.
- Ajouter 2 cc de la solution tampon (PH=10).
- Ajouter une pincée de l'indicateur (NET).
- En présence de la dureté, la solution se colore en rouge cerise.
- Titrer avec l'EDTA 0.01 M jusqu'au virage bleu de la solution et noter le volume (V).

Calcul : TH en mg/l de CaCO<sub>3</sub> = V x10

### **3.6. Calcium et Magnésium**

L'analyse de Ca<sup>++</sup> a été réalisée à l'aide de Murexide (Purpurate d'ammonium) qui est un indicateur qui en présence de l'ion Ca<sup>++</sup> se colore en rose mais vire au violet quand la quantité d'EDTA est suffisante pour complexer tous les ions Ca<sup>++</sup>. (**ASTM International, 2017**).

#### **Mode opératoire**

- Prendre une prise d'essai de 100 cc d'échantillon dans un Erlenmeyer.
- Ajouter 2 cc de Noah 1N.
- Agiter et ajouter une pincée d'indicateur Murexide.
- En présence d'ions Ca<sup>++</sup> , la solution vire au rose foncé.
- Titrer avec l'EDTA 0.01 M jusqu'au virage de la solution au violet pâle ou Mauve clair et noter le volume EDTA (V)

Calcul :

$$\text{Ca}^{++} \text{ en ppm CaCO}_3 = V \times 10$$

$$\text{Mg}^{++} \text{ en ppm CaCO}_3 = \text{TH} - [\text{Ca}^{++}]$$

### 3.7. L'oxygène dissous

Le dosage de l'oxygène dissous a été effectué par la méthode d'essai normalisée pour les produits Oxygénés (ASTM International, 2017).

#### Mode opératoire

- Brancher la sonde sur l'appareil. La sonde contient un étalonnage d'usine.
- Retirer le capot de la sonde.
- Une pression sur la touche ÉTALONNER permet de créer une méthode pour activer l'étalonnage utilisateur.
- Appuyer sur la touche MÉTHODES et sélectionner Etal utilisateur - 100%.
- Ajouter environ 6.4 mm (1/4 po) d'eau de réactif dans un flacon à col étroit .
- Agiter vigoureusement environ 30 secondes pour saturer d'eau l'air enfermé.
- Laisser stabiliser 30 minutes le contenu à température ambiante.
- Sécher soigneusement le capuchon avec un chiffon non abrasif et placer la sonde dans le flacon.
- Sélectionner Lecture.
- Sélectionner Terminé pour afficher le récapitulatif d'étalonnage.
- Sélectionner Enregistrer pour accepter l'étalonnage et revenir en mode de mesure. Mettre en place le capot sur le corps de sonde.

### 3.8. Matière en suspension (MES)

Cette méthode de détermination des solides en suspension est une mesure simple et directe qui ne nécessite pas les étapes de filtration ou d'allumage / pesage que les procédures gravimétriques font.

L'USEPA spécifie la méthode gravimétrique pour la détermination des solides, alors que cette méthode est souvent utilisée pour vérifier les processus en usine (Solis, 2007). Les résultats des essais en mg/L de matières en suspension totales (TSS) sont mesurés à 810 nm (Fig.05).

#### Mode opératoire

- Mélanger 500 ml d'échantillon dans un mélangeur à haute vitesse pour exactement deux minutes.
- Verser le mélange échantillon dans un échantillon de 600 ml bécher.
- Échantillon préparé : Mélanger l'échantillon et verser immédiatement 10 ml de l'échantillon mélangé dans une cellule d'échantillonnage.

## Chapitre II : Matériel et Méthodes

- Préparation à blanc : Remplir une deuxième cellule d'échantillon avec 10 ml d'eau du robinet ou eau déionisée. Éliminer les bulles de gaz dans l'eau par tourbillonnement ou tapotement le fond de la cellule sur une table.
- Insérez le blanc dans le porte-cellule avec la ligne de remplissage vers la droite.
- Appuyez sur ZERO. L'écran affiche : 0 mg/L TSS
- Faire tourbillonner le préparé échantillon pour éliminer tout gaz bulles et uniformément suspendre tout résidu.
- Insérer le document préparé échantillon dans le porte-cellule avec la ligne de remplissage vers la droite.
- Appuyez sur READ. Les résultats sont en mg/L TSS.



Figure 05. Photographie de Spectrophotomètre.

### 3.9. La Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La DCO donne une estimation de la quantité de polluants présents dans un effluent. La demande chimique en oxygène dans l'eau a été réalisée selon la méthode 8000 (Solis, 2007), de digestion par réacteur TNT plus™ (Fig.06).

#### Mode opératoire

- Homogénéiser 100 ml d'échantillon
- Pipeter précieusement 2,0 ml d'échantillon dans le flacon.
- Fermer la cuve et Mélanger
- Chauffer dans le thermostat pendant deux heures.
- Mélanger le flacon plusieurs fois pendant qu'il est encore chaud
- Refroidir le flacon dans la pièce température
- Nettoyez-le à l'extérieur du flacon et mesure.



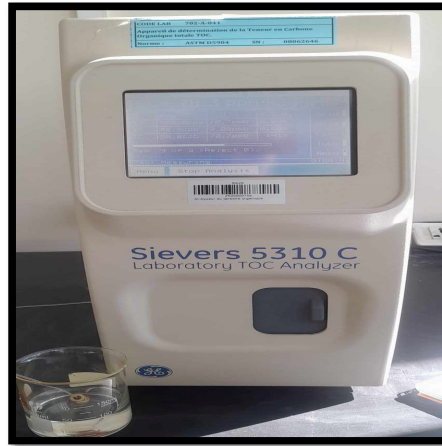
**Figure 06.** Photographie de l'analyseur de la demande chimique en oxygène.

### 3.10. TOC / IC

L'échantillon d'eau est oxydé par le persulfate en présence d'UV (**Fig.07**), convertissant le carbone organique en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et d'autres produits. Le TOC et l'IC ont été mesurés par la méthode d'essai standard pour le carbone total, le carbone inorganique et le carbone organique dans l'eau par oxydation aux ultraviolets, au persulfate et détection de la conductivité membranaire (**Solis, 2007**).

#### **Mode opératoire**

- Préparation des échantillons d'eau selon les instructions de la norme.
- Ajout des réactifs, notamment du persulfate et des catalyseurs, pour favoriser l'oxydation du carbone organique.
- Exposition de l'échantillon à une source d'UV pour accélérer l'oxydation.
- Mesure de la conductivité de l'échantillon pour détecter les ions formés pendant l'oxydation, tels que le CO<sub>2</sub>.
- Calcul des concentrations de carbone total, carbone organique et carbone inorganique dans l'échantillon en fonction de la conductivité mesurée.



**Figure 07.** Photographie de l'appareil de détermination de la teneur en carbone organique totale.

### 3.11. Nitrogène

Pour doser le nitrogène, Une digestion au persulfate alcalin convertit toutes les formes d'azote en nitrate. Le métabisulfite de sodium est ajouté après la digestion pour éliminer les interférences d'oxyde d'halogène. Le nitrate réagit ensuite avec l'acide chromotrope dans des conditions fortement acides pour former un complexe jaune avec une absorbance maximale à 410 nm (Solis, 2007).

#### Mode opératoire

- À l'aide d'un entonnoir, ajouter le contenu d'un total Persulfate d'azote Coussin de poudre de réactif pour Chacun des deux flacons.
- Échantillon préparé : Ajouter 2 ml d'échantillon à un fiole.

Préparation en blanc : Ajouter 2 ml d'eau désionisée inclus dans le kit à un deuxième fiole.

Remarque : Utilisez uniquement de l'eau qui est exempt de tout azote espèces comme substitut à l'eau déminéralisée fournie.

- Fermer les deux flacons. Secouer vigoureusement pour au moins 30 secondes pour mélanger le persulfate réactif peut ne pas se dissoudre complètement après secouer. Cela n'affectera pas exactitude.
- Insérez les flacons dans le réacteur. Chaleur pour exactement 30 minutes.
- Utilisation de doigts supprimer immédiatement le des fioles chaudes du réacteur.
- Refroidir les flacons dans la pièce température.
- Retirer les capuchons de les fioles digérées et ajouter le contenu d'un total
- Réactif d'azote (TN) A Oreiller de poudre à chaque fiole.
- Boucher les tubes et agiter pendant 15 secondes.

- Après l'expiration du délai, retirer les capuchons du flacons et ajouter un TN Réactif B Oreiller en poudre à chaque flacon.
- Boucher les tubes et Secouez pendant 15 secondes. Le réactif ne sera pas complètement dissous. Cela n'affecter la précision, la solution commencera à tourner jaune.
- Après l'expiration du délai, retirer les capuchons de deux Flacons de réactif C TN et ajouter 2 ml de digéré, échantillon traité dans un flacon. Ajouter 2 ml de digéré, réactif traité vide à le deuxième réactif TN C fiole.
- Boucher les flacons et Inverser dix fois pour mélanger. Utiliser lentement et délibérément inversions pour complète récupération. Les tubes seront chauds pour le toucher.
- Essuyer le réactif et l'insérer dans le Support de cellule rond de 16 mm
- Essuyer le flacon de réactif et l'insérer dans le Support de cellule rond de 16 mm

### 3.12. Nitrite

Le nitrite dans l'échantillon réagit avec l'acide sulfanilique pour former un sel intermédiaire d'ionium. Ceci se couple avec l'acide chronotrope pour produire un complexe de couleur rose directement proportionnel à la quantité de nitrite présente. Les résultats des tests sont mesurés à 507 nm (Solis, 2007).

#### Mode opératoire

- Remplir une cellule d'échantillon carrée de 10 mL d'échantillon.
- Échantillon préparé : Ajouter le contenu d'un oreiller de poudre de réactif de nitrite NitriVer.
- Tourbillonner pour dissoudre. Une couleur rose se développera si le nitrite est présent une période de réaction de 20 minutes commence.
- Préparation à blanc : Lorsque la minuterie expire, remplir une deuxième cellule d'échantillon carrée de 10 ml d'échantillon.
- Essuyer l'échantillon préparé et l'insérer dans le support de cellule avec la ligne de remplissage vers la droite. Appuyer sur READ. Les résultats sont en mg/L NO<sub>2</sub>.

### 3.13. Nitrate

Pour mesurer la concentration de nitrate, Le cadmium réduit les nitrates dans l'échantillon en nitrite. L'ion nitrite réagit en milieu acide avec l'acide sulfanilique pour former un sel intermédiaire d'ionium. Le sel se couple avec acide chronotrope pour former un produit de couleur rose. Les résultats des tests sont mesurés à 507 nm (Solis, 2007).

### Mode opératoire

- Remplir un flacon gradué de 25 ml cylindre de mélange avec 15 ml de l'échantillon.
- Ajouter le contenu d'un réactif Nitra Ver 6 Oreiller en poudre au cylindre. Butée.
- Lorsque la minuterie expire, verse soigneusement 10 ml de l'échantillon dans une cellule d'échantillonnage carrée propre. Ne pas transférer particules de cadmium aux cellules d'échantillonnage.
- Échantillon préparé : Ajouter le contenu d'un Réactif de nitrite Nitriver 3 Oreiller en poudre aux cellules d'échantillonnage.
- Refermer et secouer la cellule d'échantillon doucement pendant la minuterie de 30 secondes. Une couleur rose se développera si présence de nitrate.
- Préparation en blanc : Lorsque la minuterie expire, remplir un deuxième échantillon carré
- Cellule avec 10 ml d'original échantillon.
- Insérer le blanc dans le support de cellule avec le remplissage ligne vers la droite.
- Appuyez sur ZERO L'écran affiche :0,00 mg/L NO<sub>3</sub>—N
- Insérer le document préparé échantillon dans le porte-cellule avec la ligne de remplissage vers la droite
- Les résultats sont en mg/L NO<sub>3</sub>—N.

### 3.14. Phosphate

Pour doser le phosphate, l'orthophosphate réagit avec le molybdate dans un milieu acide pour produire un complexe mixte phosphate/molybdate. L'acide ascorbique réduit ensuite le complexe donnant une couleur bleue de molybdène intense. Les résultats des tests sont mesurés à 880 nm (Solis, 2007).

#### Mode opératoire

- Remplir une cellule d'échantillonnage carrée avec 10 ml d'échantillon.
- Échantillon préparé : Ajouter le contenu d'un Poser 3 phosphate dans le tube Boucher immédiatement le tube et agiter vigoureusement pendant 30 secondes.
- Appuyez sur TIMER>OK. Un délai de réaction de deux minutes de deux minutes commence. Si l'échantillon a été digéré à l'aide de la digestion au persulfate acide une période de réaction de dix minutes est nécessaire. de réaction est nécessaire.
- Préparation de l'ébauche : remplir une deuxième cellule d'échantillonnage carrée avec 10 ml d'échantillon.

- À l'expiration du délai s'est écoulé, essuyer le blanc et l'insérer dans la cellule. et l'insérer dans le porte-cellule avec la ligne de remplissage vers la droite. vers la droite.Appuyez sur ZERO. L'écran s'affiche : 0.00 mg/L PO43
- Essuyez le produit préparé échantillonner et insérer dans le support de cellule avec le remplissage ligne vers la droite. Presse READ. Les résultats sont en PO43

### 3.15. Sulfate

Les ions sulfate dans l'échantillon réagissent avec le baryum dans le SulfaVer 4 et forment un précipité de sulfate de baryum. La quantité de turbidité formée est proportionnelle à la concentration de sulfate. Les résultats des tests sont mesurés à 450 nm (Solis, 2007).

#### Mode opératoire

- Remplir un échantillon carré Cellule avec 10 ml d'échantillon.
- Échantillon préparé :
- Ajouter le contenu d'un Réactif SulfaVer 4 Oreiller en poudre au cellule d'échantillonnage. Tourbillon vigoureusement à dissoudre poudre. Une turbidité blanche se formera si sulfate est présent.
- Une réaction de cinq minutes. Ne pas perturber la cellule pendant cette fois-ci.
- Préparation à blanc : Remplir un deuxième carré cellule d'échantillonnage avec 10 mL d'échantillon.
- Lorsque la minuterie expire, insérer le vide dans le porte-cellule avec la ligne de remplissage vers la droite.
- Dans les cinq minutes après l'expiration du délai, insérer le préparé échantillon dans la porte cellule avec la ligne de remplissage vers la droite.

### 3.16. Dosage des métaux lourds

Les métaux sont déterminés par spectrophotométrie d'absorption atomique (Rodier, 2009)

#### Mode opératoire

- Mesurer 100 ml d'un échantillon acidifiée à un  $\text{pH} \leq 2$ , aspirer chaque échantillon filtré et acidifié et déterminer sa concentration.
- Aspirer de l'eau acidifiée entre chaque échantillon.
- Remarque : la même méthode est appliquée pour le dosage du zinc, plomb, fer, cadmium chrome et cuivre, mais le seul changement est la longueur d'onde.

Pour le zinc : 213,9 nm

Pour le plomb : 283,3 nm

Pour le fer : 248,3 nm

Pour le cadmium : 228,8 nm

Pour le chrome : 357,94 nm

Pour le cuivre : 324,7 nm



**Figure 08.** Photographie de spectrophotomètre à absorption atomique à flamme

#### 4. Calcul d'indice de qualité des eaux

l'IQE résume de grandes quantités de données sur la qualité de l'eau en termes simples (Excellente, Bonne, Mauvaise, Très mauvaise, etc.). Cette méthode a été initialement proposée par **Brown et al., (1970)**. Dans cette étude l'indice IQE a été appliqué pour estimer l'influence des facteurs naturels et anthropiques sur la base de plusieurs paramètres clés du chimisme des eaux de surfaces de l'Oued de Boudoukha. Cet indice a été calculé en suivant la méthode de l'indice arithmétique pondéré (**Yidana, 2010**). Dans cette approche, une valeur numérique appelée poids relatif ( $W_i$ ), spécifique à chaque paramètre physico-chimique, est calculée selon la formule suivante :

$$W_i = \frac{K}{S_i} \dots\dots (1)$$

Où :

K : constante de proportionnalité et peut également calculé par l'équation suivante :

$$K = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{S_i}\right)}$$

## Chapitre II : Matériel et Méthodes

**n** : nombre de paramètres

**Si** : valeur maximale de la norme standard algérienne des eaux de surface de chaque paramètre en mg/l sauf pour le pH et la conductivité électrique.

Ensuite, une échelle d'évaluation de la qualité ( $Q_i$ ) est calculée pour chaque paramètre en divisant la concentration par la norme du paramètre et en multipliant l'ensemble par 100 comme dans la formule suivante :

$$Q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100 \dots \dots (2)$$

$Q_i$  : échelle d'évaluation de la qualité de chaque paramètre.

$C_i$  : la concentration de chaque paramètre en mg/l.

Finalement l'indice global de la qualité de l'eau est calculé par l'équation suivante :

$$IQE = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i \times Q_i)}{\sum_{i=1}^n W_i} \dots \dots (3)$$

Cinq classes de qualité peuvent être identifiées selon les valeurs de l'indice de qualité de l'eau IQE (**Tab.2**).

**Tableau 2.** Classification et usage possible de l'eau selon l'IQE (**Aher et al., 2016**).

Classe de IQE	Type d'eau	Usage possible
0 – 25	Excellente qualité	Eau potable, irrigation et industrie
>25 – 50	Bonne qualité	Eau potable, irrigation et industrie
>50 – 75	Mauvaise qualité	Irrigation et industrie
>75 – 100	Très mauvaise qualité	Irrigation
> 100	Eau non potable	Traitement approprié requis avant utilisation

Chapitre II : Résultats et discussion

1. Paramètres physicochimiques des eaux de surface

1.1. Le potentiel hydrogène (pH)

Les résultats sont représentés dans la figure ci-dessous

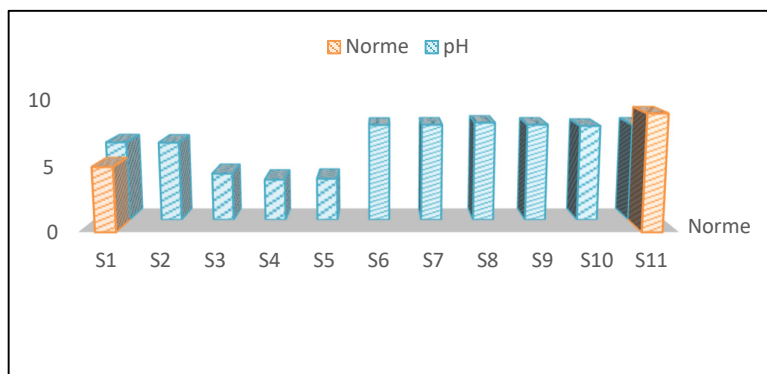


Figure 09. Résultats d'évolution de pH des différents échantillons d'eaux

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H<sup>+</sup>). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 très acide à 14 très alcalin. (Blieffert et Perraud, 2001)

D'après les résultats obtenus, le pH des eaux d'oued de Boudoukha montre une différence significative entre les échantillons prélevés. Les valeurs sont étalées entre 3,24 et 7,79 dont la valeur de pH la plus élevée a été enregistrée au niveau de S8. Selon HCEFLCD (2007) fixant le pH des eaux naturelles dans un intervalle de 5 à 9 le pH de différentes zones de prélèvement d'Oued Boudoukha est conforme aux normes. À l'exception des valeurs de pH enregistrées aux stations de prélèvement 3, 4, 5 et qui ne se trouvent pas dans l'intervalle normal.

1.2. La conductivité électrique (CE)

Les résultats sont illustrés dans la figure suivante

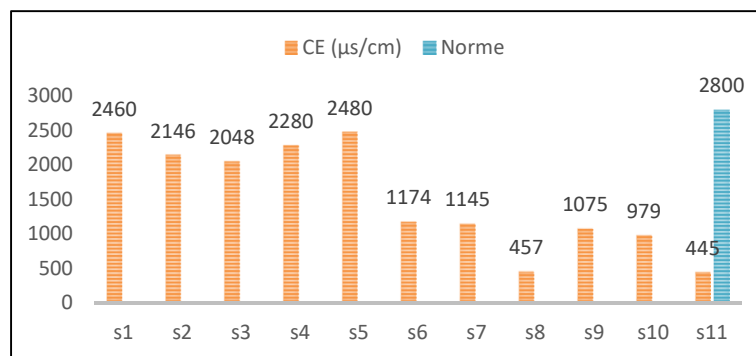


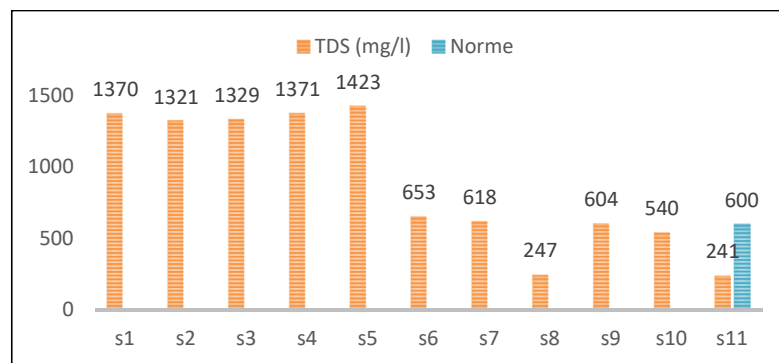
Figure 10. Résultats d'évolution de la conductivité (µs/cm) des différents échantillons d'eaux

La conductivité électrique est une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions. (Hamed *et al.*, 2012)

Une disparité évidente a été constatée entre les résultats des mesures des échantillons prélevés. La conductivité oscille 445  $\mu\text{s}/\text{cm}$  et 2480  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . De manière générale, ces résultats concordent avec les normes établies par le **Journal Officiel de la République Algérienne (2011)**, qui atteignent 2800  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

#### 1.3. TDS

Les résultats sont représentés dans la figure ci-dessous



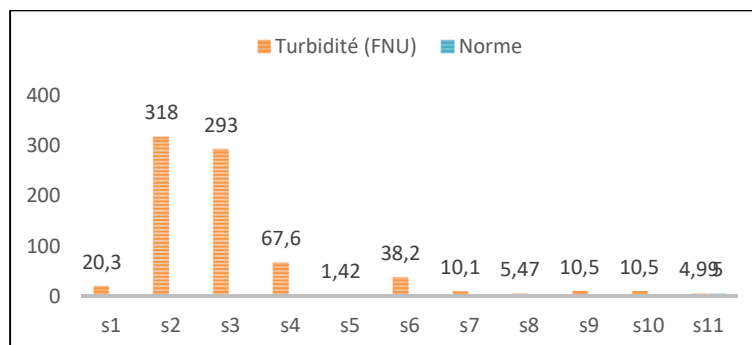
**Figure 11.** Résultats d'évolution de la TDS (mg/l) des différents échantillons d'eaux

La mesure de la TDS permet de déterminer la quantité totale des sels minéraux dissous dans l'eau. D'après les résultats des prélèvements effectués dans l'oued de Boudoukha, la TDS varie considérablement d'un point à l'autre, passant de 241 mg/L à 1423 mg/L.

Comparativement aux données de la grille de la qualité des eaux superficielles de l'OMS fixant la valeur normale de la TDS à 600mg/l, les résultats obtenus sont majoritairement conformes aux normes. Excepté celles-ci, enregistrées par les échantillons S1, S2, S3, S4, vont au-delà de la fourchette de valeur recommandée.

### 1.4. Turbidité

Les résultats sont représentés dans la figure ci-dessous



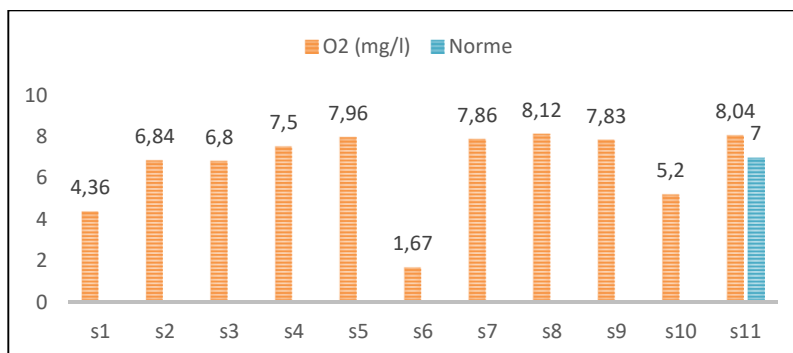
**Figure 12.** Résultats d'évolution de la turbidité des différents échantillons d'eaux

La turbidité est due aux particules colloïdales en suspension dans l'eau, quand on sait que la majorité des toxiques, tant minéraux qu'organiques sont absorbés à 90% en moyenne sur les matières en suspensions et colloïdales, on comprend l'importance de la turbidité (Bara, 2016).

Les échantillons enregistrent des valeurs comprises entre 1,42 et 318 FNU. Selon **Le Journal officiel de la République Algérienne (2014)** fixant le nitrite des eaux naturelles à 5mg/L comme valeur maximale, On peut affirmer que les niveaux de turbidité dans les différentes zones de prélèvement d'Oued Boudoukha respectent les normes. À l'exception de ces données, celles collectées par les échantillons S2 et S3 dépassent la plage de valeur recommandée.

### 1.5. L'Oxygène dissous

Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous :



**Figure 13.** Résultats d'évolution de l'oxygène dissous (mg/l) des différents échantillons d'eaux

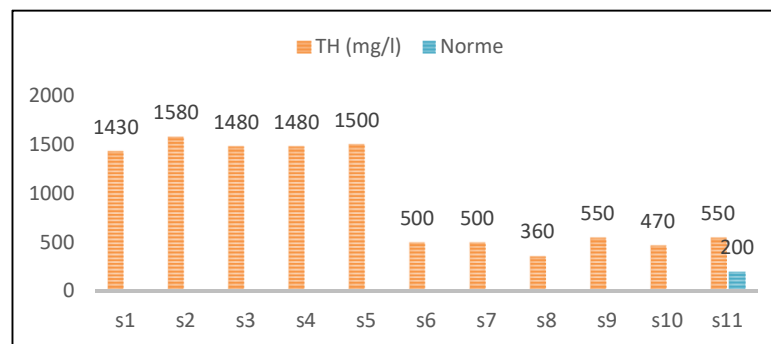
L'oxygène dissous (O<sub>2</sub>) est très important par le fait qu'il conditionne l'état de Plusieurs sels minéraux, la dégradation de la matière organique et la vie des animaux aquatiques. (HCEFLCD, 2007)

D'après les résultats obtenus pour l'ensemble des prélèvements au niveau d'oued Boudoukha, l'oxygène dissous présente des variations importantes, elle varie de 4,33 à 8,45 mg/l.

Comparativement aux données de la grille de la qualité des eaux superficielles de l'ABH (2009) fixant la valeur normale d'oxygène dissous des eaux superficielles à 7 mg/l les résultats obtenus sont majoritairement conformes aux normes.

#### 1.6. Dureté

Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous :



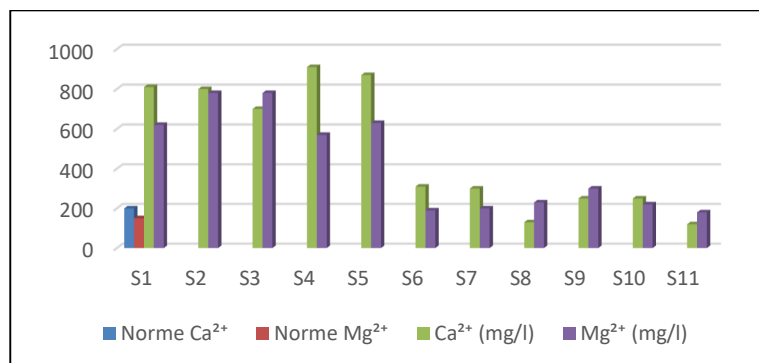
**Figure 14.** Résultats d'évolution de la dureté (mg/l) des différents échantillons d'eaux

La dureté est un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup>, mais elle est aussi un indicateur de la minéralisation de l'eau (Rodier *et al* ; 2009).

Les échantillons analysés ont une dureté comprise entre 300 et 1580 mg/l, la valeur la plus élevée étant enregistrée au niveau de S2. Selon les normes du **Journal officiel de la république algérienne (2011)** fixant la dureté des eaux naturelles à une valeur plafond de 200 mg/L, résultats de mesure ne coïncident pas avec la limite autorisée.

### 1.7. Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )

Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous



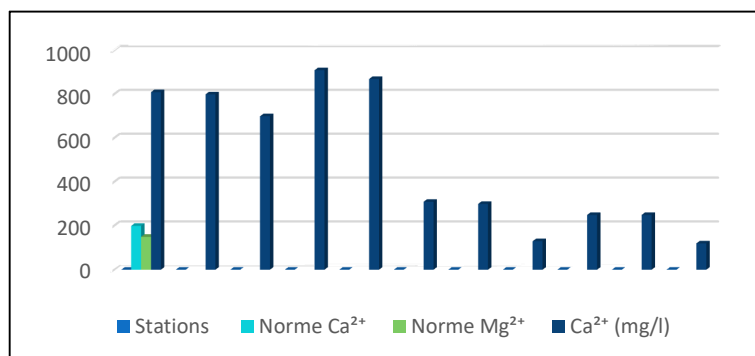
**Figure 15.** Résultats d'évolution de calcium (mg/l) et Magnésium (mg/l) des différents échantillons d'eaux

Les résultats obtenus des échantillons récupérés d'oued de Boudoukha étalés entre 120 mg/l et 910 mg/l.

D'après les variations de  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  enregistrés par les échantillons d'eaux, nous avons observé une énorme différence entre les résultats d'analyse et les normes définies par **Le journal officiel de la République Algérienne (2011)** consistant à une valeur plafond 200 mg/l pour le  $\text{Ca}^{2+}$  et 150 mg/l pour le  $\text{Mg}^{2+}$ .

### 1.8. Le carbone organique total (TOC) et le carbone inorganique (IC)

Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous



**Figure 16.** Résultats d'évolution du la TOC et l'IC en ppm des différents échantillons d'eaux

Le carbone organique total peut être utilisé indirectement pour la mesure et la connaissance de la qualité de l'eau et des eaux usées car il concerne théoriquement tous les composés organiques (Boyles, 1997).

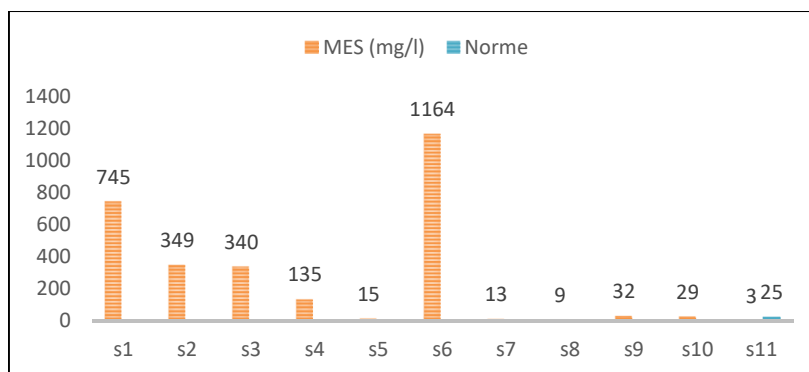
La TOC des échantillons est étalé entre 881 ppm et 992 ppm. Selon le **Journal officiel de la république algérienne (2011)** fixant la TOC des eaux naturelles à 30 ppm comme valeur maximale, on peut affirmer que les valeurs de TOC des différentes zones de prélèvement d'Oued Boudoukha ne sont pas en conformité avec les normes autorisées.

Le carbone inorganique désigne les formes de carbone présentes dans les composés minéraux principalement sous forme de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) dissous, de bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) et de carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) (Britannica, 2023).

Les résultats de mesure d'IC sont étalés entre 42,3ppm et 119 ppm. Ces valeurs sont nettement inférieures à la norme fixée à 100 ppm par le **centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (2016)**.

#### 1.9. Matière en suspension (MES)

Les résultats obtenus nous a permis de tracer la représentation graphique suivante



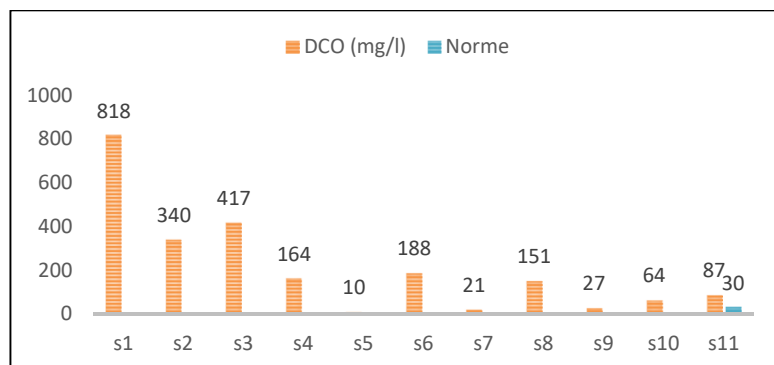
**Figure 17.** Résultats d'évolution de MES (mg/l) des différents échantillons d'eaux

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques insolubles dans l'eau (De villers *et al.*, 2005)

Les échantillons ont identifié des concentrations variant de 3 mg/L à 1164 mg/L. Les valeurs sont bien plus élevées que la norme de 25mg/L établie par le **Journal officiel de la République algérienne en (2011)**.

### 1.10. Demande chimique en oxygène

Les valeurs de mesure de la DCO sont illustrées dans la présentation graphique suivante :



**Figure 18.** Résultats d'évolution de la DCO (mg/l) des différents échantillons d'eaux

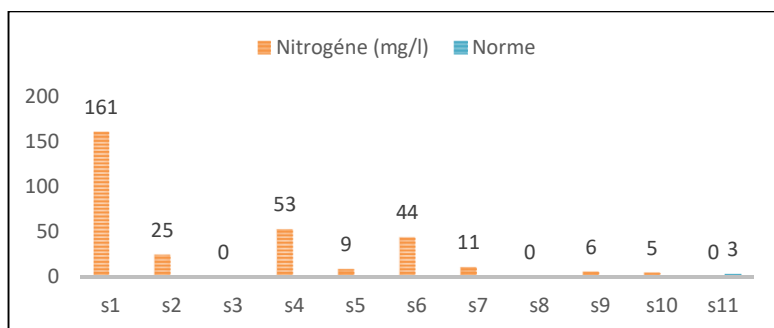
La DCO est un paramètre indispensable permettant de caractériser la pollution globale d'une eau par des composés organiques. Elle indique l'importance des matières polluantes peu ou non biodégradables (Rodier *et al.*, 2009).

D'après les résultats représentés dans la figure ci-dessus, on note l'existence d'une différence remarquable. Les résultats sont répartis entre 10 mg/l et 818 mg/l.

Selon **Journal officiel d'Algérie (2011)** qui dit que la DCO des eaux naturelles ne doit pas être supérieure à 30 mg/L. Il est évident que nos résultats ne respectent pas les normes autorisées à l'exception de la station S9 où les concentrations élevées de DCO dans l'eau témoignent de la présence d'une importante quantité de matière organique. La matière organique peut provenir de diverses sources, telles que les eaux usées domestiques, les effluents industriels, les ruissellements agricoles et les déchets naturels.

### 1.11. Nitrogène

Les résultats obtenus nous a permis de tracer la représentation graphique



**Figure 19.** Résultats d'évolution de nitrogène (mg/l) des différents échantillons d'eaux

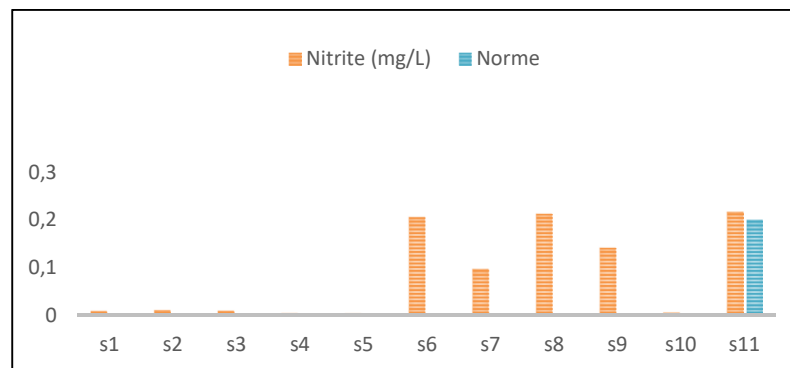
Le nitrogène est un élément chimique. C'est le composant principale de l'air il est incolore, inodore et ininflammable. Il est plus léger que l'eau quand il est à l'état liquide (Henintsoa ,2013).

Il y a eu une évaluation des résultats entre 0 et 161 mg/L, avec la valeur la plus élevée de nitrogène enregistrée à S1 et la plus faible est celle de S3, S8, S9.

Selon **Le Journal officiel de la République Algérienne (2018)** fixant le nitrogène des eaux naturelles dans un intervalle de 3 mg/L, Le nitrogène présent dans les différentes zones de prélèvement d'Oued Boudoukha ne correspond pas à la fourchette habituelle.

#### 1.12. Nitrite

Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous



**Figure 20.** Résultats d'évolution de nitrite (mg/l) des différents échantillons d'eaux

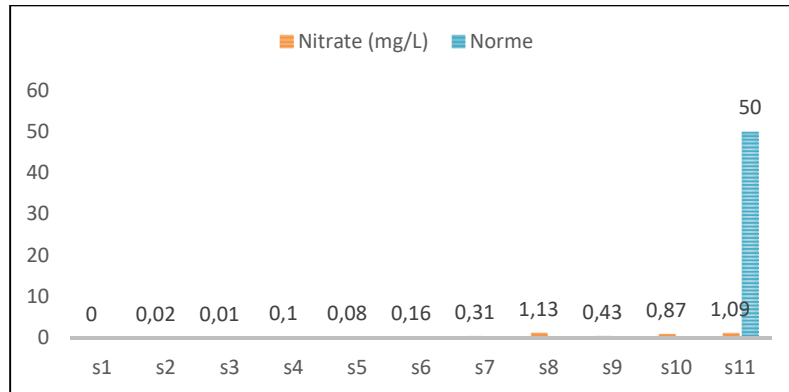
Les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement. Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), présent dans l'eau et le sol. (Santé Canada, 1992).

Les résultats de l'analyse des nitrites des échantillons collectés montrent des valeurs maximales en S6, S8, S9 et S11, tandis que d'autres échantillons ne montrent que des traces.

Selon **Le Journal officiel de la République Algérienne (2011)** fixant le nitrite des eaux naturelles à 0,2 mg/L comme valeur maximale, on peut dire que les valeurs de nitrite des différentes zones de prélèvement d'Oued Boudoukha sont majoritairement conformes aux normes.

### 1.13. Nitrate

Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous

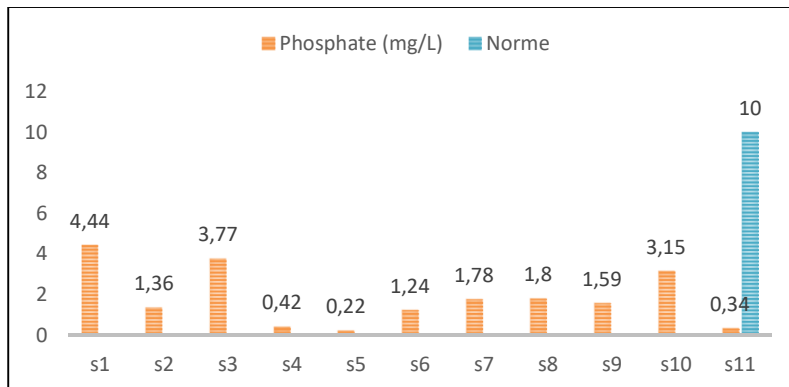


**Figure 21.** Résultats d'évolution de nitrate (mg/l) des différents échantillons d'eaux

D'après les résultats obtenus, les valeurs de nitrate sont étalées entre 0,22 et 4,44 mg/l. Ces valeurs sont nettement inférieures à la norme fixée à 50 mg/L par **Le Journal officiel de la République Algérienne (2011)**.

### 1.14. Phosphate

Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous



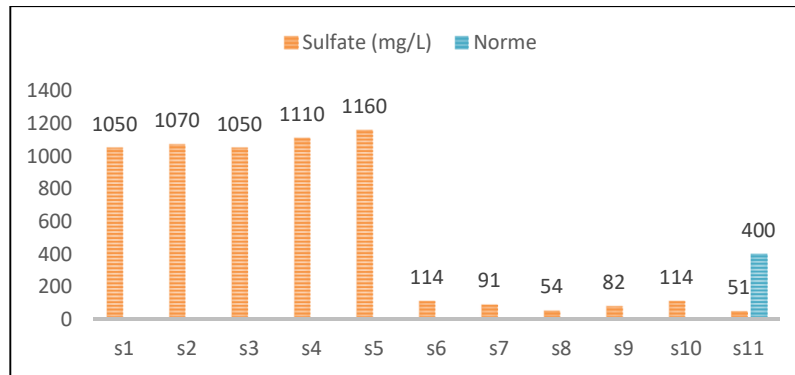
**Figure 22.** Résultats d'évolution de phosphate (mg/l) des différents échantillons d'eaux

Les phosphates font partie des anions assimilables par le corps de l'être humain, quelle que soit leur origine (domestique, industrielle ou agricole), leur présence dans les eaux à fortes concentration (teneurs supérieures à 0,2 mg/l) favorise le développement massif d'algues, lesquelles conduisent à l'eutrophisation des lacs et des cours d'eau (**Potelon et Zysman, 1998**).

D'après les variations de phosphate enregistré par les échantillons des prélèvements nous avons observés une énorme différence entre les résultats d'analyse des prélèvements avec les normes définis par **Le journal officiel de la République Algérienne (2011)** consistant à 10mg/l.

### 1.15. Sulfate

Les résultats sont représentés dans la figure ci –dessous



**Figure 23.** Résultats d'évolution de sulfate (mg/l) des différents échantillons d'eaux

Les origines anthropiques sont la combustion de charbon et de pétrole qui entraîne une production importante de sulfures et, l'utilisation d'engrais chimiques et de lessive (**Barry, 1989**). La transformation réversible des sulfates en sulfures se fait grâce au cycle du soufre (**Peck, 1970**)

D'après les résultats obtenus, le sulfate d'oued Boudoukha montre une différence significative entre les échantillons prélevés. Les résultats sont étalés entre 51 et 1160 dont la valeur de sulfate la plus élevée a été enregistrée au niveau de S5.

Selon le **Journal officiel d'Algérie (2011)** fixant le sulfate des eaux naturelles à 400 mg/l comme valeur maximale, on peut dire que les valeurs de sulfates enregistrés au niveau de S1, S2, S3, S4 et S5 ne sont pas conformes aux normes, tandis que les valeurs marquées dans les autres stations se trouvent dans la fourchette normale.

1.16. Zinc

Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous

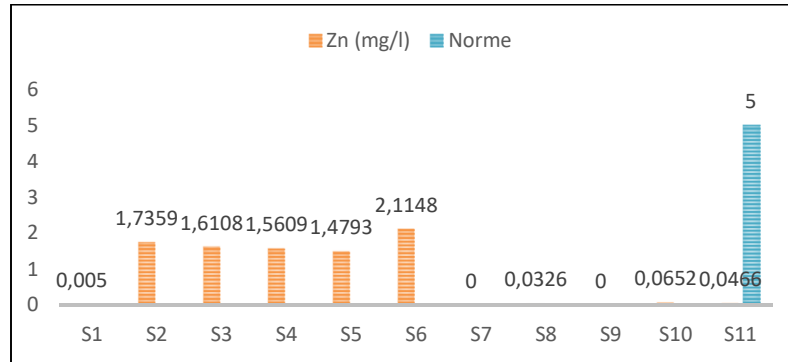


Figure 24. Résultats d'évolution de zinc (mg/l) des différents échantillons d'eaux

Le zinc est un élément chimique, ses sources naturelles sont l'altération de roches, le volcanisme et la végétation. Des statistiques ont montré que les sources naturelles ne représentent que 7 % des émissions totales du zinc dans l'environnement. (Bouchelkia ,2015).

D'après les résultats obtenus de dosage du zinc, les valeurs sont étalées entre 0 et 2.118 mg /l. Selon **Le journal officiel de la République Algérienne (2011)** qu'indique que le zinc ne doit pas dépasser 5 mg/l, on constate que nos résultats sont conformes aux normes.

1.17. Fer

Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous

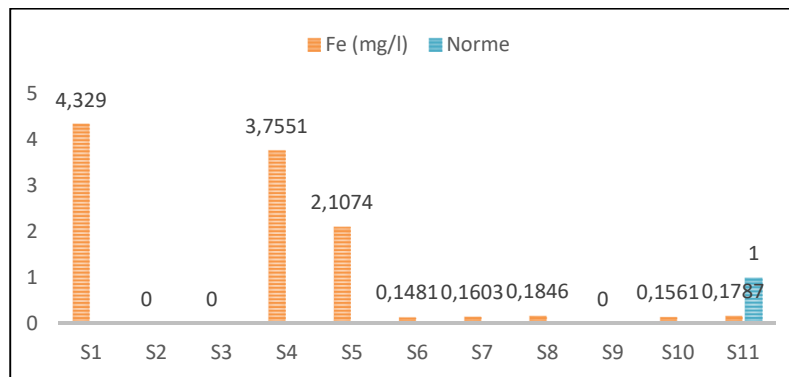


Figure 25. Résultats d'évolution de fer (mg/l) des différents échantillons d'eaux

D'après résultats obtenus et la figure ci-dessus, on constate une différence bien marquée entre les doses de fer détectées dans les échantillons des onze prélèvements. En comparant nos résultats avec les normes nationales obtenues par **le journal officiel algérien (2021)**, les valeurs enregistrées restent supérieures à la valeur guide et qui est égale (1mg/l) de la norme algérienne relative à la qualité des eaux naturelle.

### 1.18. Le cuivre

Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous

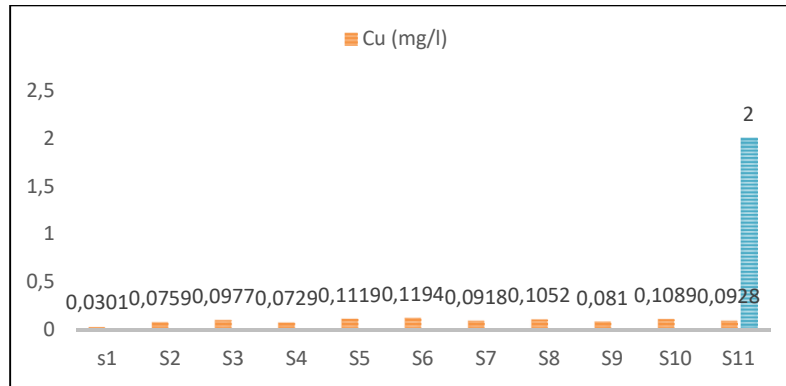


Figure 26. Résultats d'évolution de cuivre (mg/l) des différents échantillons d'eaux

D'après les résultats obtenus et la figure ci-dessus, les concentrations totales de cuivre des échantillons prélevés sont estimées entre 0.0301 et 0.1119 mg/l. En corrélant ces résultats avec les normes fixées par le **Journal officiel algérien (2011)**, les valeurs enregistrées restent inférieures à la valeur guide et qui est égale (2 mg/l).

### 1.19. Plomb

Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous

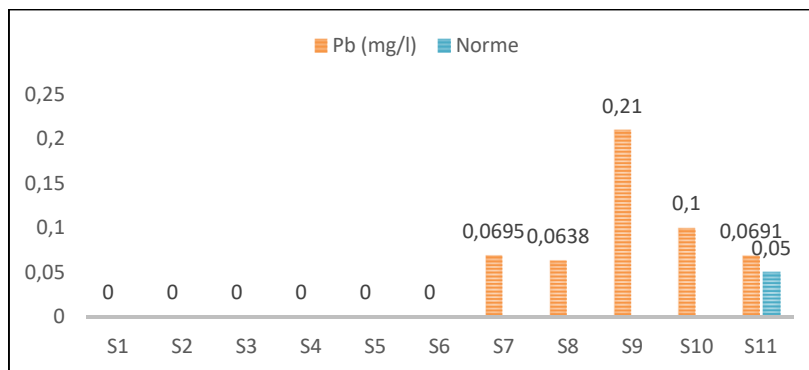


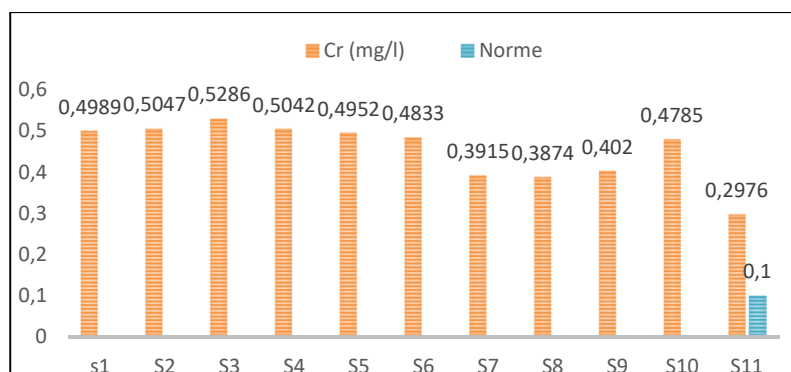
Figure 27. Résultats d'évolution de plomb (mg/l) des différents échantillons d'eaux

Le plomb est un métal utilisé par l'homme depuis des millénaires. La production et l'utilisation du plomb ont augmenté de façon spectaculaire durant la Révolution Industrielle entraînant une libération intense de ce métal indestructible et son accumulation massive dans l'environnement (Pascal et Bruno, 2013).

Selon le **journal officiel de la république algérienne (2011)** on observe que l'immense majorité de nos résultats ne sont pas conformes aux normes de plomb se concordent avec les normes officielles qui ne doivent pas être supérieure à 0,05 mg/l.

#### 1.20. Chrome

Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous



**Figure 28.** Résultats d'évolution de chrome (mg/l) des différents échantillons d'eaux

Le chrome dans l'environnement peut avoir une origine naturelle, laquelle constitue l'apport majoritaire dans notre société industrielle.

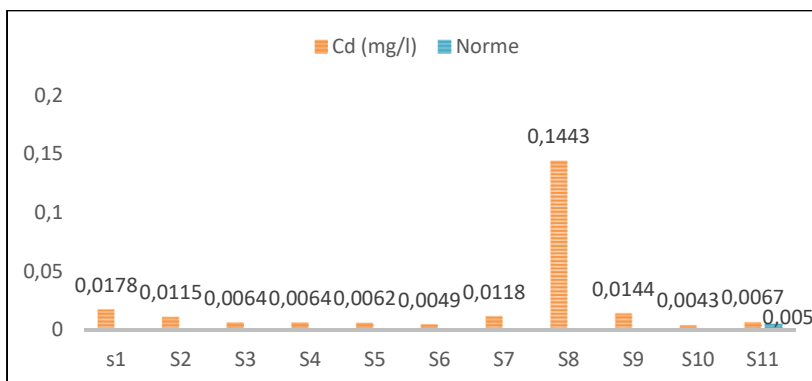
L'altération et l'érosion des roches ainsi que, la précipitation de la pluie sont les sources considérables de libération du chrome dans l'environnement et son acheminement vers les eaux de surface et les eaux souterraines (**Ramade, 2000**).

Les résultats obtenus des échantillons récupérés d'oued de Boudoukha sont étalés entre 0.2976 mg/l et 0.5286 mg/l dont la valeur de chrome la plus élevée a été enregistrée au niveau de S3 et la plus faible est celle de S8.

Selon **Le Journal officiel de la République Algérienne (2011)** les valeurs enregistrées restent supérieures à la valeur guide qui est égale (0.1 mg/l) de la norme algérienne relative à la qualité des eaux naturelle.

### 1.21. Cadmium

Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous



**Figure 29.** Résultats d'évolution de cadmium (mg/l) des différents échantillons d'eaux

Le cadmium est un élément relativement rare présent dans l'écorce terrestre à des concentrations faibles. La source de dispersion naturelle du cadmium dans l'atmosphère est principalement liée à l'activité volcanique. L'enrichissement en cadmium des sols et des systèmes aquatiques résulte de l'altération des matériaux de la croûte terrestre et des retombes atmosphériques. (Garin et Simon, 2004).

Les résultats obtenus sont étalés entre 0,0062 et 0,0178 mg/L dont la valeur la plus élevée a été enregistrée au niveau de S8 et la plus faible est celle de S10.

Selon **Le Journal officiel de la république algérienne (2001)** fixant la valeur de cadmium dans les eaux naturelles dans un intervalle de 0.005 mg/L, le cadmium de S1, S2, S3, S4, S6, S8, S9 et S9 n'est pas conforme à la norme autorisée.

### 2. Calcul d'indice de qualité des eaux

Dans cette étude, la qualité globale des eaux superficielles de Boudoukha a été évaluée par la méthode de l'IQE. Le poids relatif ( $W_i$ ) de chaque paramètre physico-chimique et la constante de proportionnalité  $k$  ont été calculés en premier lieu en utilisant les valeurs maximales de la norme standard Algérienne des eaux de surface des paramètres physico-chimiques étudiés (**Tab.3**). En effet 23 paramètres importants dans l'étude de la qualité des eaux superficielles ont été pris en compte dans le calcul de la valeur IQE.

### Chapitre III : Résultats et discussion

**Tableau 03.** Poids des paramètres physicochimiques et normes algériennes de la qualité des eaux superficielles. (Journal officiel de la république algérienne, 2011)

Paramètres	Normes algériennes (valeur maximale)	1/Si	Wi		
pH	9	0,1111	0.00046		
CE (µs/cm)	2800	0,000357	0.0000015		
TDS (mg/L)	600	0,00166	0.000007		
Turbidité	5	0,2	0.0009		
O2 Dissous (mg/L)	7	0,1428	0.0006		
TH (mg/L)	200	0,005	0.000021		
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	200	0,005	0.000021		
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	150	0.0066	0.000028		
TOC (ppm)	30	0.0333	0.00014		
IC (ppm)	100	0.01	0.000042		
MES (mg/L)	25	0.04	0.000168		
DCO (mg/L)	30	0.0333	0.00014		
Nitrogène	3	0.333	0.0014		
Nitrite (mg/L)	0,2	5	0.021		
Nitrate (mg/L)	50	0,02	0.000084		
Phosphate (mg/L)	10	0,1	0.00042		
Sulfate (mg/L)	400	0.0025	0.0000105		
Plomb (mg/L)	0,05	2	0.0084		
Zinc (mg/L)	5	0.2	0.00094		
Chrome (mg/L)	0,1	10	0.042		
Fer (mg/L)	1	1	0.0042		
Cadmium (mg/L)	0,005	200	0.84		
Cuivre (mg/L)	2	0.5	0.0021	$K=1/(\frac{1}{Si})$	0.004550

### *Chapitre III : Résultats et discussion*

Après le calcul de l'indice global de qualité IQE en utilisant les résultats d'analyses physico-chimiques et les valeurs standards de la norme algérienne des eaux superficielles, la classe de qualité des eaux est déterminée pour les 11 échantillons relatifs aux 11 stations d'échantillonnage.

**Tableau 04.** Calcul de l'indice IQE et classe de qualité des eaux superficielles de Boudoukha

Station d'échantillonnage	IQE	Qualité des eaux
S1	355,53	Eau non potable
S2	238,2	Eau non potable
S3	136,117	Eau non potable
S4	135,36	Eau non potable
S5	135,12	Eau non potable
S6	232,43	Eau non potable
S7	217,34	Eau non potable
S8	299,64	Eau non potable
S9	265,7	Eau non potable
S10	95,3	Très mauvaise
S11	129,5	Eau non potable

Des classes de qualité très mauvaise et non potable ont été enregistrées respectivement au niveau des stations d'échantillonnage des eaux superficielles au voisinage de la mine abandonnée de Boudoukha, un traitement approprié des eaux donc sera requis.

### Conclusion

Notre étude a eu pour objectif de caractériser les eaux de surface autour de la mine abandonnée de Boudoukha. Nous avons effectué onze prélèvements d'eau pendant une période pluvieuse afin de maximiser la détection des contaminants, ce qui nous a permis d'évaluer l'impact environnemental des résidus miniers. En analysant divers paramètres chimiques et physiques des échantillons recueillis, nous avons pu obtenir une image détaillée de la contamination.

Les résultats des analyses physicochimiques des eaux montrent que les stations situées à proximité du site minier, ainsi que celles situées à des distances considérables, sont fortement contaminées. Le suivi des indices de qualité des eaux (IQE) au cours de cette étude révèle une détérioration significative de la qualité des eaux superficielles aux alentours de la mine abandonnée de Boudoukha. Des classes de qualité très mauvaise et non potable ont été enregistrées respectivement au niveau des stations de prélèvement, indiquant un grave problème de pollution.

Pour arrêter la détérioration de la qualité environnementale, des mesures de remédiation doivent être prises pour immobiliser les polluants et limiter leur transport des eaux de surface vers les sols et les eaux souterraines. Ces mesures pourraient inclure la stabilisation des résidus miniers, la mise en place de barrières physiques pour empêcher le ruissellement, et l'utilisation de technologies de traitement de l'eau pour éliminer les contaminants existants.

Il est également crucial de mettre en œuvre un programme de surveillance continue afin de suivre l'évolution de la qualité de l'eau et d'évaluer l'efficacité des mesures de remédiation. Enfin, la sensibilisation des communautés locales et des parties prenantes à l'importance de la protection de l'environnement et des ressources en eau est essentielle pour garantir la durabilité des efforts de réhabilitation.

On résume les perspectives pour des futures Travaux par

#### **Étude à Long Terme des Effets de la Pollution :**

- Mener des études longitudinales pour observer les effets à long terme de la pollution par les métaux lourds sur les écosystèmes aquatiques et terrestres environnants.
- Évaluer l'impact de la contamination sur la biodiversité, y compris les espèces endémiques et migratrices.

#### **Développement de Techniques de Remédiation Innovantes :**

- Développer et tester des techniques de bioremédiation et de phytoremédiation pour immobiliser et éliminer les métaux lourds des sols et des eaux.
- Investiguer l'efficacité des matériaux absorbants naturels et synthétiques pour la dépollution des eaux de surface et souterraines.

#### **Analyse des Sources de Contamination :**

## *Conclusion*

---

-Identifier et quantifier les sources potentielles de contamination par les métaux lourds, notamment les anciennes activités minières, industrielles et agricoles.

-Étudier les interactions entre différentes sources de pollution pour mieux comprendre leur contribution cumulée à la contamination environnementale.

### **Impact de la Pollution sur la Santé Humaine :**

-Réaliser des études épidémiologiques pour évaluer les risques sanitaires associés à l'exposition aux métaux lourds pour les populations locales.

-Développer des modèles de prévision des risques pour la santé humaine basés sur les concentrations de métaux lourds détectées dans l'environnement.

### **Suivi et Surveillance de la Qualité de l'Eau :**

-Mettre en place un réseau de surveillance continue de la qualité de l'eau pour détecter rapidement les changements dans les niveaux de contamination.

-Utiliser des technologies de télédétection et des systèmes d'information géographique (SIG) pour une surveillance à grande échelle des écosystèmes aquatiques.

### **Sensibilisation et Participation Communautaire :**

-Impliquer les communautés locales dans les efforts de surveillance et de remédiation à travers des programmes éducatifs et des projets participatifs.

-Promouvoir la sensibilisation sur les dangers de la pollution par les métaux lourds et les mesures de prévention pouvant être prises à l'échelle individuelle et communautaire.

### **Politiques et Réglementations Environnementales :**

-Collaborer avec les autorités locales et nationales pour renforcer les réglementations environnementales visant à prévenir et à contrôler la pollution par les métaux lourds.

-Élaborer des directives et des normes spécifiques pour la gestion des sites contaminés, en s'inspirant des meilleures pratiques internationales.

Ces perspectives permettront de renforcer notre compréhension des impacts environnementaux et sanitaires de la pollution par les métaux lourds, tout en développant des solutions durables pour remédier à cette problématique

**Liste des références bibliographiques**

**Adriano D.C, (2001).** Trace elements in terrestrial environments: Biochemistry, bioavailability and risks of metals. Springer-Verlag, New York

**Afnor, (1988).** Prélèvement et dosage du plomb dans les aérosols. Paris-La Défense.

**Arris S, (2013).** « Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes », Mémoire de Magister, Université de Souk-Ahras.

ASTM International. (2017). Standard Test Method.

**Aubertin, M., Bussière, B. et Bernier, L. (2002)** Environnement et gestion des rejets miniers. Cédérom publié par Les Presses Internationales de Polytechnique à paraître automne 2002).

**Aw SE, N'Goran BZ, Siaka S, Parinet B. (2011).** Intérêt de l'analyse multidimensionnelle pour l'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau d'un système lacustre tropical : cas des lacs de Yamoussoukro

**Bara Y, (2016).** « Etude comparative de la qualité physicochimique et bactériologique de l'eau du barrage de Hammam Debagh avant et après traitement Cas de la station de traitement de Hammam Debagh –Guelma».Mémoire de master. Université 8 Mai 1945 Guelma.

**Bell. G.F, Donnely ,J.L.(2006).** Mining and it's Impact on the Environment. Taylor & Francis e-Librar

**Benzaazoua, M, Bussiere, B ;Dagenais, A.M., (2004).** Kinetic test comparison and interpretation for prediction of the Joutel tailings acid generation potential.

**Blieffert C. et Perraud R, (2001).** « Chimie de l'environnement – air, eau, sols, déchets», Ed. De Boeck Université.

Boca Raton, London, New York, Washington D.C

**Boeglin .J ; 1999.** Propriété des eaux naturelle, cours.

**Boeglin Jean-Claude (2008).** Propriétés des eaux naturelles. Technique de l'ingénieur, traité environnement, G1 110.

**Bouftouha Y, (2000).** Pétrologie, géochimie et métallogénie des skarns de la Kabyle de Collo (Nord-Est Algérien). Unpublished Thesis. Université de Mentouri, Constantine. 257p

**Bouftouha Y, 2000. Pétrologie, géochimie et métallogénie des skarns de la Kabyle de Collo (Nord-est Algérien).** Unpublished Thesis. Université de Mentouri, Constantine. 257p.

**Bourahla M, (2011).** Etude métallogénique comparative de deux principales concentrations minérales de type filonien néogène dans la partie centrale de massif de la petite kabylie .Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme du magister. Université houari Boumediene

**Bouttine N et Serir M, (2002).** Contribution à l'étude métallique de la mine de boudoukha (Kabylie de Collo). Université Mentouri- Constantine. 44 p.

**Boyles P, (1997).** Géologie environnementale. Géologie et environnement humain . p. Chichester, New York, Weinheim, Brisbane, Singapour, Toronto : John Wiley

**Cain, D.J., Luoma, S.N., Wallace, W.G., (2004).** Linking metal bioaccumulation of aquatic insects to their distribution patterns in a mining-impacted river. Environ. Toxicol. Chem. 23, 1463–1473. doi:10.1897/03-291

**Cissé G, (1999).** Risques sanitaires liés à l'utilisation d'eaux polluées en maraîchage urbain au sahel : cas de Ouagadougou (Burkina Faso), Sud Sciences & Technologies . De mer, Ed. Dunod, Paris

DEGREMONT, " Mémento technique de l'eau ", Ed. Degremont, France, (1989).

**Djemmal S .( 2009).** Les Ressources en Eau ey L'environnement, l'effet de la sebkha sur la qualité des eaux souterraines dans la partie sud-est de Sétif Cas du Guidjal, Université de Constantine, Algérie.

Edition, La Lettre du Cadre Territorial, Voiron, France

**Garin, M., et Simon, O., (2004).** Fiche radionucléide cadmium<sup>109</sup> et environnement» direction de l'environnement et de l'intervention –service d'étude du comportement des radionucléides dans les écosystèmes.

**Hamed, (2012).** Etude des propriétés physicochimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Djofra-Tourba Bechar. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Biologie, Option : Contrôle de qualité et d'analyse, Université de Bechar,

**Hammi H, (2010).** «*La pollution des eaux par les métaux lourds* », Les III ème Olympiades.

**HCEFLCD, (2007).** Etude diagnostique de la zone humide AL Massira- Faija, cercle d'ELBrouj et Cercle de Settat (Maroc), 242p.

**Kabata- Pendias A., Mukherjee AB., 2007.** Trace éléments from Soil to Human. Berlin : SpringerVerlag.

Kabata-Pendias,A., et Pendias, H, (2001).Trace elements in soils and plants.

**Karami H, (2013).** heavy metal removal from water by magnetite nanorods, Iran .

**Köppen G, (2012).** Climate-Data.org

**Larrose A., A. Coynel, J. Schäfer, G. Blanc, L. Masse et E. Maneux (2010).** Assessing the current state of the Gironde Estuary by mapping priority contaminant distribution and risk potential in surface sediment. *Appl. Geochem.*, 25, 1912-1923

Miquel M, (2001). Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport Office.

**N. Bouchelkia, (2015).** « Etude de l'élimination du Plomb, du Zinc et du cadmium par adsorption sur un charbon actif préparé à base des noyaux de jujube », Mémoire de Magister, Université de Bejaia

**Oubagha, N, (2011).** Décontamination des eaux contenant les colorant textiles et les adjuvants par des matériaux naturels et synthétique, Mémoire de Magister en chimie de l'environnement, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou.

**Pascal, D., et Bruno, I., ( 2013).** Plomb et qualité de l'eau potable. conseil général de l'environnement et du développement durable. Rapport n° : 008435-01

**Peck H D, (1970).** Sulphur requirements and metabolism of microorganisms. Proceedings of a symposium on sulphur in nutrium. D.H. muth & J.E. oldfields. Ari Publishing Co., Westpost, CT.

**Potelon J. L., Zysman K. (1998).** Le guide des analyses de l'eau potable,

**Radoux, M., Cadelli D., Nemcova M., Kemp D., Klaessen D, (1995).** Qualité et traitement des eaux. Belgique : Fondation universitaire luxembourgeoise.

**Ramade, F., (2000),** Dictionnaire encyclopédique des pollutions, Edition: science international, Paris, p834

**Revuelta, M.B. (2018).** Mineral resources from exploration to sustainability assessment. Springe

**Robert, M. and Juste, C. (1999).** Dynamique des éléments traces de l'écosystème sol. Club CRIN Environnement et Ministère de l'environnement. Spéciation des métaux dans le sol, CRIN, Paris, 495.

**Rodier J, (1984).** L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. 5ème Edition, Dunod, Paris.

**Rodier J. (1984).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux

**Rodier, J. (200).** Analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer. 9 ème édition. 3d. Dunod bordas, Paris. 1526 p.

**Runnels, D.D., Sheperd, T.A. et Angino, E.E (1992).** Metals in water, determining natural background concentrations in mineralized areas. *Environmental Science and Technology*

**Samake H. (2002).** Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001, 77p.

**Santé Canada,(1992).** Le nitrate et le nitrite. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada - Documentation à l'appui Consulté le 11 juin 2015.

**Solis Javier (2007).** Dr 2800 spectrophotomètre: procedure manual. Hach company, 2nd édition, Germany.

**Weiss D, (1999).** Arsenic hyper accumulation by different fern species, Journal New Phytologist, Vol 156, PP 27-31.

**Wu H., X. Liu, X. Zhang, C. Ji, J. Zhao et J. Yu (2013).** Proteomic and metabolomic responses of clam *Ruditapes philippinarum* to arsenic exposure under different salinities. Aqua. Toxicol., 136, 91-100