

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REOUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

جامعة 20 اوت 1955 - سكيكدة -

UNIVERSITE 20AOUT 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 : Ecologie et environnement

Spécialité : Protection des écosystèmes

Intitulé :

*Etat des sols et des eaux de surface contaminés par les éléments traces  
métalliques d'une mine abandonnée- cas de la mine de Boudoukha*

*(NE Algérien)*

Présenté par :

**BOUSSAID Rania**

**BOUTEBEN Imen**

**BOUZEMI Aya**

**CHERROUD Rayan**

**Membre de Jury :**

**Dr. FEKRACHE Fadila (MCA) :**

**Présidente**

**Université 20 Août 1955 Skikda**

**Dr. BOUDEFFA Khaled (MCA) :**

**Promoteur**

**Université 20 Août 1955 Skikda**

**Dr. HADJOUJJA Nawal (MCB) :**

**Examinatrice**

**Université 20 Août 1955 Skikda**

**Année universitaire 2022/2023**

## *Dédicace*

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

*A mon très cher père pour l'éducation qu'il m'a prodigué; avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'il a consentis à mon égard, pour le sens du devoir qu'il m'a enseigné depuis mon enfance.*

*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 tous les membres de ma famille : mes frères : Houdaifa, Mohamed et mes sœurs khaoula, soumia et nouha qui m'encourageaient tous le temps et me poussaient vers le mieux.*

*A mes chers nièces et neveux.*

*A mes grands Parents (que dieu les gardes) et à ce qui ne sont plus parmi nous, paix à leur âme.*

*A mes amies intimes : Soraya et nesrine*

*A mes chères copines, avec laquelle j'ai partagé les bons et les mauvais moments : Aya, rayan et iman*

*Aux étudiants de ma Promo de protection des écosystème 2022 - 2023 et surtout mon groupe chaqu'un de son propre nom*

*Maroua, Asma, Yassmin, Amel, Soumaya, Wafa et Chayma,*

*A tout ma famille*

*A ceux, qui me sont chers : Je dédie ce travail.*

*Rania*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mon cher grand père **MEBROUK**, que Dieu ait pitié de lui, qui est absent parmi nous et toujours présent dans mon cœur. Je pris a mon Dieu d'avoir pitié de lui et l'accorder son vaste paradis*

*A mes très chère parents ma mère et à mon père pour leur amour, leur soutient et leur présence à mes côtés durant tout le parcours de ma vie, et n'ont jamais cessé de prier pour moi*

*Surtout ma précieuse mère, qui est considérée comme mon plus grand héros dans la vie, je lui dédie ce travail en guise de remerciement pour tous ses sacrifices pour moi*

*A mon chère frère : **Habib Abd Rahmen** et ma petite princesse sœur : **Roukaya** que les j'aime très fort*

*A mon fiancé : **Yaakoub** pour le courage qu'il m'a donné pour continuer et le soutien moral et matériel .Un grand merci pour votre confiance a mon succès et de toujours me pousser vers le mieux*

*A mes chères grand mères : **Souad** et **Hassina***

*AU meilleur oncle du monde : **Mohamed** qui n'a pas lésiné sur moi avec toute l'aide qu'il a pu, que dieu le protège*

*A toutes ma famille*

*A mes sœurs avant de devient mes amies : **Asma** , **Soumaya** , **Wafa** , **Chaïma** , **Amel** , **Yasmine** , **Maroua** , **Ghada** et **Lyna***

*A mes chères amies et sœurs avant d'êtres binômes :*

***Aya** , **Rayen** et **Rania***

*Et enfin A ceux qui m'ont encouragé et soutenu dans mes moments les plus difficiles.*

**IMEN**

## Dédicace :

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui ont donné un sens à mon existence, en m'offrant une éducation digne de confiance, ceux qui ont attendu avec patience les fruits de leur bonne éducation à mes très chers parents : Omar et Havel.*

*A mes chères sœurs : Sara, Dumnia, Serine, Hiba.*

*A mes grands-parents : Massaoud, Lila*

*A mes belles copines : Fasmine, Asma, Soumaya, Amel, Maroua, Wafa, Phaima, Phahrazed et Bisma.*

*A ceux qui m'ont encouragé dans mes moments les plus difficiles.*

*A tous les enseignants qui m'ont suivi tout au long de mon parcours éducatif.*

*A mes chères amies: Rayane, Imane et Rania.*

*Aya.*

## *Dédicace*

*Avec l'aide d'Allah le tout puissant et miséricordieux,*

*j'ai pu achever ce modeste travail que je dédie :*

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; **maman** que j'adore.*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde toujours pour moi ; à toi **mon père**.*

*Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, mes sœur*

**IMANE et SARA**

*A mon soutien dans cette vie à mes frères :**ABDE RAHMANE,***

**MOUHAMED**

*A ceux qui ont passé des jours avec qui tu n'oublie pas, avec leur douceur et leur amertume, aux meilleurs amis du monde :**RANIA, IMEN, ASMA , AMEL, CHAIMA, WAFI, SOUMAYA, YASMINE, MARWA.***

*A ma meilleure amie et chérie qui m'a toléré au pire :**AYA***

*A l'âme la plus douce et la plus belle, je remercie dieu d'être mon ami :*

**RANIA**

*A tous ceux qui m'ont soutenu, même avec un mot, qui a prolongé ma carrière universitaire, à tous ceux qui m'aiment.*

*Un merci très spécial au plus beau et au meilleur docteur : **BASSMA***

**DJEMLI.**

## REMERCIEMENTS

*Au terme de ce travail nous tenons en premier lieu de remercier le Dieu pour la force et le courage qu'il nous a donné pour réaliser ce modeste travail.*

*En seconde lieu on tient à exprimer nos remerciements les plus sincères à notre encadreur **Mr BOUDEFFA Khaled**, nos Co-encadreur **Mlle DJEMLI Mebaraka** pour le temps et l'attention qu'ils ont bien voulu au bon déroulement de ce travail.*

*Nous tenons à exprimer aussi notre gratitude À **Madame, FEKRACHE.F**, Professeur à l'Université de Skikda pour l'honneur qu'il nous fait d'avoir accepté de présider le jury de soutenance de ce mémoire.*

*Nous tenons à remercier également **Madame HADJOUJJA.N**, d'avoir accepté d'examiner et de juger notre synthèse, qu'ils trouvent ici notre sincère respect.*

*Nous remercions chaleureusement tous les gens de laboratoire étudiées pour leur aide et à tous les enseignantes de l'écologie*

*Et enfin nos vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou loin, à la réalisation de ce travail qu'ils trouvent ici l'expression de nos remerciements les plus cordiaux.*

Résumé  
abstract  
الملخص

Liste des tableaux  
Liste des figures  
Liste des abréviations

Introduction.....	01
<b>Chapitre I : Synthèse bibliographique</b>	
<b>Partie 01 : Pollution eau et sol</b>	
1. Définition.....	04
2. Pollution des eaux.....	04
2.1. Origines de la pollution des eaux.....	04
2.1.1. Pollution industrielle.....	04
2.1.2. Pollution agricole.....	05
2.1.3. Pollution urbaine (domestique).....	06
2.1.4. Pollution naturelle.....	06
3. Pollution de sol.....	07
<b>Partie 02 : Les métaux lourds</b>	
1. Définition.....	08
2. Classification des métaux lourds.....	08
2.1. Métaux essentiels.....	08
2.2. Métaux non-essentiels.....	08
3. Origine des métaux lourds.....	09
4. Pollution par les ETM .....	10
4.1. Contamination des eaux par les ETM.....	10
4.2. Contamination des sols.....	10
5. Impact des éléments traces métalliques .....	11
<b>Partie 03 : les sites miniers</b>	
1. L'activité minière et ses rejets.....	12
2. Les statuts d'un site minier.....	12
3. Impacte des sites miniers sur l'environnement.....	13
3.1. Impacte des sites miniers sur la qualité de sol.....	14
3.2. Impacte des sites miniers sur la qualité des eaux .....	14
3.3. Impacte des sites miniers sur la santé humaine.....	14
4. Site minier fermé.....	15
<b>Chapitre II : Matériel et méthodes</b>	
1. Présentation de la région de Boudoukha.....	16
1.1. Historique de la mine de Boudoukha.....	16
1.2. Situation géographique.....	16
1.3. Climatologie générale.....	17
1.4. La végétation.....	17
1.5. Hydrologie.....	17
2. Echantillonnage et technique de prélèvement.....	17
2.1. Station de prélèvement.....	17
2.2. Conservation des échantillons.....	18

## *Sommaire*

---

3.	Méthode d'analyse d'eau.....	19
3.1.	Température.....	19
3.2.	Potentiel hydrique (pH) .....	20
3.3.	La conductivité électrique (CE) .....	20
3.4.	Dureté.....	21
3.5.	Nitrates (NO <sub>3</sub> -).....	22
3.6.	Nitrites (NO <sub>2</sub> -).....	23
3.7.	L'ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).....	23
3.8.	Chlorure(Cl <sup>-</sup> ).....	24
3.9.	Demande chimique en oxygène (DCO).....	24
3.10.	Demande biochimique en oxygène (DBO <sub>5</sub> ) .....	25
3.11.	Les matières en suspension (MES) .....	26
3.12.	L'oxygène dissous.....	27
3.13.	Fer totale.....	28
3.14.	Chrome (Cr).....	29
3.15.	Cuivre.....	30
4.	Méthodes d'analyses du sol.....	30
4.1.	Le pH (potentiel d'hydrogène) .....	30
4.2.	La conductivité électrique.....	31
4.3.	Mesure d'humidité.....	31
4.4.	Calcaire totale.....	32
4.5.	La matière organique.....	33
<b>Chapitre III : Résultats et discussion</b>		
1.	Paramètres physicochimiques des eaux de surface.....	35
1.1.	La température (C°).....	35
1.2.	Le potentiel d'hydrogène (pH).....	36
1.3.	La conductivité électrique (CE).....	37
1.4.	L'Oxygène dissous.....	37
1.5.	Matière en suspension (MES).....	38
1.6.	La DBO <sub>5</sub> .....	39
1.7.	La DCO.....	39
1.8.	Dureté.....	40
1.9.	Dureté CaCO <sub>3</sub> .....	41
1.10.	Nitrite.....	42
1.11.	Nitrate.....	42
1.12.	Chlorure.....	43
1.13.	L'Ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .....	44
1.14.	Le Cuivre (Cu).....	44
1.15.	Le Fer totale (Fe).....	45
1.16.	Le chrome (Cr).....	46
2.	Paramètres physicochimiques du sol.....	47
2.1.	Le pH.....	47
2.2.	L'humidité.....	47
2.3.	La conductivité électrique.....	48
2.4.	Calcairetotale.....	49
2.5.	Matière organique (MO).....	49
Conclusion.....		49

---

*Sommaire*

---

Références bibliographiques..... 51  
Annexe..... 59

*Sommaire*

---

## Résumé

Les activités anthropiques et son impact environnemental est une problématique majeure, les ressources en eau de surface risquent d'être menacées par le développement urbain et les activités polluantes qui y sont associées, comme les activités domestiques, agricoles, industrielles, hospitalières, et les activités de pêche et de tourisme. La vulnérabilité des eaux de surface à la pollution est autant plus significative dans les pays à ressources limitées comme le cas de l'Algérie (Skikda), surtout qu'il existe une relation serrée entre les eaux de surface, les sols et les eaux souterraines, la pollution est automatiquement transférée des eaux de surfaces vers les eaux souterraines par drainage et qu'elles sont très fréquemment exploitées pour l'alimentation.

Le présent travail consiste à évaluer l'état des sols et eaux de surface au voisinage de la mine abandonnée de Boudoukha (Wilaya de Skikda). Pour se faire, nous avons déterminé plusieurs paramètres physico-chimiques (température, pH, conductivité, dureté nitrite, nitrate, ammonium, chlorure, DCO, DBO5, MES, phosphate), ainsi que le dosage des métaux lourds (Fer, cuivre, chlorure) des eaux et quelques paramètres physiques et chimiques des sols prélevés dans la période étalée entre le mois de Mars et Mai.

En fait références aux résultats d'analyses physicochimiques, ont déduit que la S1 est la plus polluée car elle a donné des teneurs élevés en CE, l'O<sub>2</sub> dissous, la MES, la dureté l'ammonium Fer et cuivre, alors que la station de prélèvement la moins contaminée est la S2 parce qu'elle a enregistré la majorité des valeurs dans l'intervalle autorisé.

D'un autre côté, l'analyse physicochimique des échantillons des sols nous a informés probablement que le sol de la S3 est le plus contaminé, car il a marqué des valeurs élevées.

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

## Abstract

Anthropogenic activities and their environmental impact are a major problem, surface water resources are at risk of being threatened by urban development and associated polluting activities, such as domestic, agricultural, industrial, The European Union's Member States and the European Union's Member States are also involved.

The vulnerability of surface waters to pollution is all the more significant in countries with limited resources such as Algeria (Skikda), where there is a close relationship between surface water, soil and groundwater, pollution is automatically transferred from surface water to groundwater by drainage and is very frequently used for food.

The present work is to assess the condition of the soil and surface water in the vicinity of the abandoned Boudoukha mine (Wilaya de Skikda). To do so, we determined several physico-chemical parameters (temperature, pH, conductivity, nitrite hardness, nitrate, ammonium, chloride, COD, BOD5, MES, phosphate), as well as the determination of heavy metals (iron, copper, chloride) water and some physical and chemical parameters of the soils collected in the period between March and May.

In fact references to the results of physicochemical analyses, have deduced that the S1 is the most polluted because it gave high levels of EC, dissolved O, MES, hardness

Iron and copper ammonium, whereas the least contaminated sampling station is S2 because it recorded the majority of the values within the allowed range.

On the other hand, physicochemical analysis of soil samples has probably informed us that the soil of S2 is the most contaminated, as it has marked high pH and MO values.

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

## ملخص

الأنشطة البشرية وأثرها البيئي مشكلة قد تهدد التنمية ، موارد المياه السطحية والأنشطة الملوثة المرتبطة بها، مثل الأنشطة المحلية، والأنشطة الزراعية والصناعية والمستشفيات وأنشطة صيد الأسماك والسياحة.

إن ضعف المياه السطحية أمام التلوث أكثر أهمية في البلدان ذات الموارد المحدودة مثل حالة الجزائر (سكيكدة)، إضافة إلى وجود علاقة بين المياه السطحية والتربة والمياه الجوفية، التلوث من المياه السطحية إلى المياه الجوفية عن طريق الصرف كما أنهم كثيراً ما يستغلون في الغذاء.

العمل الحالي هو تقييم حالة التربة والمياه السطحية المحيطة بمنجم بودوخة المهجور (ولاية سكيكدة). للقيام بذلك، حددنا العديد من العوامل الفيزيائية الكيميائية (درجة الحرارة، امكانات الهيدروجين، الموصلية، الصلابة، النترت، النترات، الأمونيوم، الكلوريد، الطلب على الاوكسيجين الكيميائي، الطلب على الاوكسيجين البيولوجي، المواد العالقة، الفوسفات)، بالإضافة إلى فحص المعادن الثقيلة للماء (الحديد والنحاس والكلوريد) وبعض العوامل الفيزيائية والكيميائية للتربة التي جمعت في الفترة ما بين مارس وماي.

في الواقع، بالإشارة إلى نتائج التحليلات الفيزيائية الكيميائية، تم استنتاج أن المحطة الأولى هي الأكثر تلوثاً لأنها أعطت مستويات عالية في الموصلية ، الاوكسيجين المذاب ، المواد العالقة ، الصلابة ، الحديد، الأمونيوم والنحاس، في حين أن محطة أخذ العينات الأقل تلوثاً هي المحطة الثانية لأنها سجلت غالبية القيم في النطاق المسموح به.

من ناحية أخرى، أبلغنا التحليل الفيزيائي الكيميائي لعينات التربة انه ربما تكون تربة المحطة الثانية هي الأكثر تلوثاً، لأنها تشير إلى قيم عالية في امكانات الهيدروجين و المادة العضوية.

**الكلمات المفتاحية :** الماء، التربة ، موقع منجم ، اثار معدنية ، تلوث.



## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 01.</b> Pollution industrielle .....	1
<b>Figure 02.</b> Pollution agricole .....	2
<b>Figure 03.</b> Les différents statuts d'un site minier ....	3
<b>Figure 04.</b> Photo satellite de la région de Boudoukha.....	13
<b>Figure 05.</b> Carte de localisation des stations de prélèvement.....	14
<b>Figure 06.</b> Photographie de l'appareil de mesure de pH, O2 et Conductivité électrique.....	17
<b>Figure 07.</b> Photographie d'un pH-mètre, conductimètre de type SI Analytics PRO La2500.....	18
<b>Figure 08.</b> Photographie de la détermination de la dureté.....	19
<b>Figure 09.</b> Photographie d'un spectrophotomètre UV.....	20
<b>Figure 10.</b> Photographie d'un DCO bloc chauffant.....	23
<b>Figure 11.</b> Photographie d'un incubateur.....	24
<b>Figure 12.</b> Photographie d'un DBO mètre.....	24
<b>Figure 13.</b> Photographie d'équipement de filtration.....	25
<b>Figure 14.</b> Photographie d'un spectrophotomètre de type DR 6000.....	27
<b>Figure 15.</b> Photographie de mesure de la conductivité électrique.....	29
<b>Figure 16.</b> Photographie des creusets de porcelaine au cours de séchage.....	30
<b>Figure 17.</b> Photographie de protocole de dosage de matière organique.....	32
<b>Figure 18.</b> Résultats d'évolution de la température des différents échantillons d'eaux.....	36
<b>Figure 19.</b> Résultats d'évolution de pH des différents échantillons d'eaux.....	37
<b>Figure 20.</b> Résultats d'évolution de la conductivité des différents échantillons d'eaux.....	38
<b>Figure 22.</b> Résultats d'évolution de MES des différents échantillons d'eaux.....	39
<b>Figure 23.</b> Résultat du DBO5 des différents échantillons d'eaux.....	40
<b>Figure 24.</b> Résultats d'évolution de DCO des différents échantillons d'eaux.....	40
<b>Figure 25.</b> Résultats d'évolution de dureté des différents échantillons d'eaux.....	41
<b>Figure 26.</b> Résultats d'évolution de dureté CaCO3 des différents échantillons d'eaux.....	42

<b>Figure 27.</b> Résultats d'évolution de nitrite des différents échantillons d'eaux.....	43
<b>Figure 28.</b> Résultats d'évolution de nitrate des différents échantillons d'eaux.....	43
<b>Figure 29.</b> Résultats d'évolution de chlorures des différents échantillons d'eaux.....	44
<b>Figure 30.</b> Résultats d'évolution d'Ammonium des différents échantillons d'eaux.....	45
<b>Figure 31.</b> Résultats d'évolution du cuivre des différents échantillons d'eaux.....	46
<b>Figure 32.</b> Résultats d'évolution du cuivre des différents échantillons d'eaux.....	46
<b>Figure 33.</b> Résultats des variations du pH dans les échantillons de sol.....	48
<b>Figure 34.</b> Les variations du taux d'humidité et poids secs des échantillons du sol.....	48
<b>Figure 35.</b> Variation de la CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) mesurée dans les sols.....	49
<b>Figure 36.</b> Variations de la CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) mesurée dans les sols.....	50
<b>Figure 37.</b> Variations de la matière organique des échantillons du sol.....	50

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01.</b> Principaux éléments métalliques essentiels et non-essentiels.....	9
<b>Tableau 02.</b> Types des métaux lourds et effets sur l'environnement.....	12
<b>Tableau 03.</b> Méthodes d'analyses des paramètres physico-chimiques.....	19
<b>Tableau 04.</b> Echelle de salinité du sol .....	49

## **Liste des abréviations :**

**%** : pourcentage

**µs** : Micro Siemens

**Abs** : absolue

**As** : Arsenic

**B** : Bore

**C°** : Degré Celsius

**CaCO<sub>3</sub>** : Carbonate de calcium

**Cd** : Cadmium

**CE** : conductivité électrique

**Co** : Monoxyde de carbone

**Cr** : chrome

**Cr<sup>6+</sup>** : Chromium 6<sup>+</sup>

**Cu** : Cuivre

**DBO** : demande biologique en oxygène

**DCO** : demande chimique en oxygène

**DMA** : Déchets ménagers assimilés

**ETM** : Elément trace métallique

**Fe** : Le fer

**FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>** : Chromite

**Fig** : Figure

**g** : gramme

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** : Acide sulfurique

**HCL** : Acide chlorhydrique

**Hg** : Mercure

**KCl** : Chlorure de potassium

**KOH** : Hydroxyde de potassium

**MES** : matière en suspension

**Mn** : Manganèse

**MO** : Matière organique

**Mo** : Molybdène

**NaCl** : chlorure de sodium

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** : Ammonium

**Ni** : Nickel

**nm** : nanomètre

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

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : nitrate

**OD** : Oxygène dissous

**OMS** : Organisation Mondiale de Santé

**Pb** : Plomb

**PET** : Polyéthylène téréphtalate

**PH** : potentiel d'hydrogène

**Pm** : Prométhium

**PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>** : Phosphate

**Ppm** : Partie par million

**S** : seconde

**Sn** : étain

**T** : Température

**TDS** : Total Des solides Dissous.

**V** : volume d'échantillon

**Zn** : Zinc

# **Introduction**

# INTRODUCTION

---

## INTRODUCTION

L'eau est une ressource naturelle unique. Il peut être renouvelée mais pas remplacé, Une fois disparu ou dégradé, il ne peut être remplacé par d'autres éléments (**Timmerman et al., 2020**). Il recouvre les trois quarts de la surface de notre planète. Ce précieux trésor est indispensable à la vie humaine, animale et végétale, elle répond aux besoins fondamentaux de l'homme dans divers domaines tels que l'agriculture, la production d'électricité, les industries, ainsi que les usages domestiques. En raison de l'augmentation de la population humaine, les besoins en eau sont en croissance progressive, ceci est aggravée par la diminution de la quantité d'eau potable disponible à cause de la réduction des précipitations (changements climatiques) d'une part et de la pollution de l'eau d'autre part (**Walaa, 2016**).

Les eaux de surface regroupent toutes les eaux s'écoulant à la surface du sol, des versants jusqu'aux cours d'eau, en passant par les mares, les étangs et les lacs (**Rassou, 2009**). Ces eaux de surface ont une qualité plus ou moins régulière selon les rejets qui s'y déversent ou encore selon le ruissellement des pluies. Les activités socio-économiques, les plus importantes sources potentielles de pollution sont celles liées à l'agriculture, l'industrie, la pêche artisanale et le tourisme (**Zerrouqi, 2013**).

Selon Plus et al., (2006), il existe deux types d'activités humaines : les activités humaines terrestres (agriculture, foresteries, tourisme, industrie, mines) et les activités humaines aquatiques (pêche, baignade, yachting, aquaculture, trafic des produits pétroliers, exploitations de sable fluvial et marin). Certaines de ces activités humaines contribuent directement ou indirectement par ruissellement ou drainage à la pollution des eaux de surface et influent sur les caractéristiques des eaux (**Munabi et al., 2009**).

Les industries exercent des activités susceptibles d'engendrer une dégradation de la qualité des écosystèmes. Cette pollution industrielle est générée par les effluents industriels et les divers produits toxiques utilisés. Les effluents, avec ou sans traitement, sont déversés dans la mer ou dans les rivières ou sur les sols (Bawa et al., 2005). Ces effluents polluent l'eau de surface par le transfert des polluants, tels que les métaux lourds (**Voegborio et al., 2011**).

## INTRODUCTION

---

La contamination des sols par les polluants présente aussi une importance majeure engendrant un impact sanitaire et environnementale qu'il est nécessaire d'évaluer (**Grand et al., 2012**). La contamination du sol par les métaux lourds et prédominante devenue de plus en plus un problème mondial avec le développement de l'industrie, l'activité minière et agricole (Whorfé, 2004).

L'industrie minière est un secteur économique des plus prometteurs en Algérie, reconnue comme un important générateur de revenue par l'exploitation et la valorisation des minerais (**Issaad et al., 2019**). Cependant plusieurs mines inactives continuant d'être inventoriées comme sites miniers fermés ou abandonnés (**FCE, 2016**).

Le champ minier de Boudoukha est un secteur où l'exploitation minière a été très développée. Le gisement (filon Hubert) a été découvert en 1900 (**Boutaleb et al., 2017**), ce filon a été exploité pendant 23 ans, caractérisée par la présence des filons de quartz à minéralisation sulfurée polymétalliques (Cu, Zn, Pb, Fe, Ag.....) (**Bouftouha, 2000**). L'exploitation a commencé en 1900 et fut menée jusqu'en 1955 avec des interruptions entre 1914-1948. De ce fait, les résidus miniers abondants qu'il a engendrés ont été disposés en halles et versés qui n'ont fait l'objet d'aucune réhabilitation sur le plan environnemental (**Boutaleb et al., 2017**).

La pollution par les métaux lourds, et comme toutes les autres pollutions (pesticides organochlorés, organophosphorés, herbicides, hydrocarbures, déchets nucléaires, etc.) représente actuellement un facteur toxicologique important, à propriétés toxiques avérées (molécules cancérigènes, tératogènes ou mutagènes), dont les conséquences sur les organismes vivants peuvent affecter la vie marine, depuis les producteurs primaires et le danger de contamination s'amplifie au fur et à mesure que l'on monte à travers les maillons des chaînes trophiques. (**Blinda, 2007**).

La santé humaine est gravement touchée par les maladies liées à l'eau, de même que par la pollution due à des rejets de produits chimiques dans l'eau issus des différentes activités humaines. D'après l'UNICEF 60% de la mortalité infantile dans le monde est due à des maladies majoritairement liées à la pollution de l'eau (**Rouamba et al., 2016**).

# INTRODUCTION

---

Notre étude est portée sur l'évaluation des risques de pollution des eaux de surface et des sols au voisinage de la mine abandonnée de Boudoukha et pour se faire nous avons effectué des analyses physico-chimiques et le dosage des métaux lourds de différentes stations à côté de la mine.

Notre travail a été représenté en trois chapitres :

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

Partie 01 : Pollution eau et sol

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 bibliographique

## Chapitre I : Synthèse bibliographiques

### Partie 01 : Pollution eau et sol

#### 1. Définition

La pollution est la dégradation d'un milieu naturel par des substances extérieures, introduites de manière directe ou indirecte. Elle peut affecter et modifier de façon durable la santé humaine la qualité des écosystèmes et la biodiversité aquatique ou terrestre (**Alain et botta, 2007**).

On distingue souvent selon la nature de polluant plusieurs types de pollution :

- La pollution physique.
- La pollution biologique.
- La pollution chimique.
- La pollution radioactive (**Pérès, 1976**).

#### 2. La pollution des eaux

La pollution peut atteindre des environnements comme les fossés, les rivières, les cours d'eau, les canaux les lacs, la mer et les nappes souterraines

Selon la loi n°3 du 19 juillet 2003, « la pollution de l'eau est l'introduction dans l'environnement aquatique de toute substance pouvant altérer les caractéristiques physique chimique et biologique de l'eau. Mettre en danger la santé humaine, de nuire à la faune, à la flore terrestre et aquatique » (**Schmitzberger, 2008**)

#### Origines de la pollution des eaux

##### Pollution industrielle

Les polluants d'origine industrielle (**Fig.01**) sont très variés selon le type d'activité substances organiques banales, produits organiques de synthèse, hydrocarbures, sels minéraux métaux lourds.



**Figure 01.** Pollution industrielle. [1]

Les pollutions sont exceptionnelles (incident dans un processus) mais encore trop souvent chroniques (fuite de réservoirs, de canalisations...) Un cas particulier est celui des exploitations minières. L'extraction des granulats en plaine alluviale met en contact l'eau de la nappe avec les polluants éventuels. **(Jacques Beauchamp, 2006)**

### **Pollution agricole**

L'utilisation massive des engrais et des produits chimiques de traitement des plantes **(Fig.02)** détruit la vie dans les rivières et rend impropres à la consommation humaine, et parfois animale, les eaux superficielles et souterraines, alors que les professionnels agricoles ont longtemps nié l'impact de leur activité sur la qualité de l'eau et refusé la moindre contrainte.

Le transfert des engrais et pesticides à la nappe se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée, soit par rejet dans des puits perdus, des gouffres et bétoires.

La pratique de l'irrigation accélère le transfert. Une pollution ponctuelle commune est fournie par les eaux de rinçages des récipients et appareils d'épandage. L'épandage des boues de stations d'épuration pose problème par leur charge possible en métaux lourds et germes, en plus de leur richesse en azote résiduelle après culture. **(Jacques Beauchamp, 2006)**



**Figure02.** Pollution agricole [2]

### **Pollution urbaine (domestique)**

Résulte des usages de l'eau par les ménages. Elle comprend les eaux vannes (toilettes) et les eaux ménagères et se compose surtout de pollution organique (matières fécales, urines, graisses, déchets organiques, papier) microbiologique (les microbes dans les eaux vannes principalement) et chimique (détergents, produits domestiques divers). [3]

### **Pollution naturelle**

Les eaux souterraines contiennent quelques impuretés, même si elles ne sont pas affectées par les activités humaines.

Les types et les concentrations d'impuretés naturelles dépendent de la nature du matériel géologique par lequel les eaux souterraines se déplacent, et de la qualité de l'eau de recharge. Les eaux souterraines se déplaçant à travers les roches et les sols sédimentaires, peuvent absorber un éventail de composés tels que le magnésium, le calcium, et les chlorures. Certaines couches aquifères ont des concentrations naturelles élevées en constituants dissous tels que l'arsenic, le bore, et le sélénium. L'effet de ces sources normales de contamination sur la qualité d'eaux souterraines dépend du type du contaminant et de ses concentrations (Jacques Beauchamp, 2006)

### 3. Pollution de sol

Le sol est défini comme : « Un corps naturel composé de solides (minéraux et matière organique), de liquides et de gaz qui se produisent à sa surface **(Schoonover et Crim, 2015)**

Les sols sont dans de nombreux cas l'intermédiaire obligé entre l'atmosphère et l'hydrosphère, pour une fraction de la quantité totale de chaque polluant que l'homme rejette dans l'air. Contrairement à la pollution de l'air, qui sévit aussi bien dans les villes que dans les zones rurales, la pollution des sols affecte principalement les zones rurales. Ceci est principalement une conséquence de l'expansion de certaines techniques agricoles modernes. Les engrais chimiques augmentent certes les rendements, mais leur utilisation répétée à très fortes doses entraîne une contamination du sol par les impuretés qu'ils contiennent, il en va de même pour les pesticides minéraux ou organiques. La présence de pollution dans le sol n'est pas une menace en soi, une menace surgit lorsque la pollution peut se mobiliser et affecter l'environnement (faune, flore) ou l'homme. **(Dubey et Dwividi, 1998).**

Un sol contaminé peut présenter trois types de risques environnementaux qui se traduiront en risque sur la santé humaine :

- 1- Le contact direct des polluants avec les occupants du sol, pourra avoir des effets nocifs sur le système respiratoire, les irritations aux yeux....
- 2- Lessivage des polluants par les eaux d'infiltration et transfert des polluants vers les eaux souterraines et superficielles (pollution possible des ressources en eau).
- 3- Réintroduction des polluants dans la chaîne alimentaire par les végétaux et les organismes vivants du sol.

## Partie 02 : Les métaux lourds

### 1. Définition

La définition du terme « métaux lourds » varie selon les auteurs mais communément, Il est assemblé sous cette appellation les éléments d'une densité supérieure à 5g/cm<sup>3</sup> que nous pouvons retrouver dans l'eau, l'air et le sol. Parmi les métaux lourds, nous retrouvons des éléments majeurs et des éléments traces, c'est-à-dire des éléments dont la concentration dans la croûte terrestre est pour chacun d'entre eux inférieure à 1%.

Parmi les métaux lourds, on cite classiquement le Cd, Cr, Co, Cu, Sn, Fe, Mn, Hg, Mo, Ni Pb, Zn ainsi que trois autres éléments, le B, As et Se qui ne sont cependant pas des métaux par leur structure atomique (**Impens et al., 1991**).

Le terme métaux lourds, implique aussi une notion de toxicité. Le terme « éléments traces métalliques » est aussi utilisé pour décrire ces mêmes éléments, car ils se retrouvent souvent en très faible quantité dans l'environnement. Dans ce contexte, nous utiliserons le terme « métaux lourds » dans le sens de l'impact toxique sur les humains et les environnements (**Huynh, 2009**).

### 2. Classification des métaux lourds

#### Métaux essentiels

Les métaux essentiels font partie des nutriments, il s'agit de substances qui ont une fonction biologique et dont le corps humain a besoin, mais que nous ne produisons pas, comme le fer. Nous devons ingérer ces métaux via alimentation, où ils sont présents naturellement ou à laquelle ils sont parfois ajoutés intentionnellement. Ils existent en faibles concentrations dans les tissus biologiques (Lin et al., 2020). Certains peuvent devenir toxiques lorsque leur concentration dépasse un certain seuil comme le cuivre (Cu), le zinc (Zn) et le fer (Fe) (tableau 2) (**Kabata-Pendias et Pendias, 2001**).

#### Métaux non-essentiels

Les métaux non essentiels ne sont pas nécessaires à notre corps. En fonction des quantités ingérées, ils peuvent même être toxiques. C'est pourquoi ces métaux sont soumis à la législation sur les contaminants. Il s'agit notamment du plomb, du cadmium et du mercure, qui en raison de leur densité élevée sont également appelés métaux lourds (**Rinklebe et al., 2019**).

## Chapitre I : Synthèse bibliographiques

Les métaux non essentiels peuvent contaminer les aliments par différents moyens. Les plantes absorbent ces métaux depuis le sol ou sont polluées par les retombées de poussières. Les poissons, les produits de la pêche et les algues peuvent absorber ces métaux à partir de l'eau dans laquelle ils sont élevés, cultivés ou pêchés. La viande peut contenir des métaux lorsque les animaux les ingèrent via leur alimentation. Ces métaux s'accumulent dans certains organes comme le foie et les reins. Plus longue est la vie d'un animal, plus sa chair et ses organes contiennent des métaux (Hashemi, 2020).

**Tableau 1.** Principaux éléments métalliques essentiels et non-essentiels (Hopkins, 1989).

Eléments essentiels majeurs	Oligo-éléments Essentiels	Eléments « essentiels » en ultra trace	Eléments non essentiels
Calcium Phosphore Potassium Soufre Magnésium Chlore Sodium	Fer Iode Cuivre Manganèse Zinc Cobalt Molybdène Sélénium Chrome Nickel Vanadium Silicone Arsenic	Lithium Fluore Aluminium Etain	Plomb Cadmium Mercure

### 3. Origine des métaux lourds

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 (Bourrelier 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).

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).

#### 4. Pollution par les ETM

La contamination d'un milieu par les métaux lourds désigne une augmentation des teneurs totales de ces éléments dans le milieu suite à des apports anthropiques importants.

Selon Akujobi (2012), les métaux lourds constituent de sérieux polluants environnementaux, en particulier dans les zones à haute pression anthropique leur présence dans l'atmosphère, le sol et l'eau, même sous forme de traces peut causer de graves problèmes à tous les organismes.

#### Contamination des eaux par les ETM

Les ETM sont des facteurs polluants importants et très toxiques dus à leur capacité de s'accumuler dans le biotope. Ils pénètrent dans les écosystèmes avec les précipitations les cours d'eau, les effluents et les rejets accidentels abandonnés comme sous-produits des industries, des mines ou s'échappant des bateaux. Les ETM dans l'eau subissent des cycles de transformation et de complexations comme réduction par processus biochimique méthylation, déméthylation et oxydation d'espèces de métaux isolées des réactions redox peuvent aussi faciliter certaines transformations, cette pollution ajoutée à la charge polluante déversée dans l'écosystème aquatique, s'accompagne d'une altération de la qualité de la vie marine. (Hejabi *et al.*, 2011).

#### Contamination des sols

Situé à l'interface entre l'eau l'atmosphère et les végétaux, le sol assure de nombreuses c'est l'un des fonctions économiques, écologiques et biologiques (Ablain, 2002) ; des éléments essentiels des écosystèmes naturels et agricoles. Sa contamination par des métaux ou d'autres éléments traces engendre donc des risques pour ces écosystèmes (Schwartz *et al.*, 1999), la qu'il contamination des sols constitue un enjeu fondamental non seulement parce affecte notre l'enjeu n'est environnement proche, mais aussi et surtout parce que de la pollution des sols ni plus l'alimentation ni moins qu'en eau potable (Miquel, 2001).

## Chapitre I : Synthèse bibliographiques

---

Les métaux peuvent être soit fixés dans les roches et les sédiments, soit mobiles. Dans le premier cas, les quantités disponibles sont infimes et ils n'ont aucune signification sur l'environnement. **(Di Benedetto, 1997).**

La quantité de métaux lourds s'accumulant dans le sol dépend de la contribution de chaque source de pollution. **(Alloway et Steinnes, 1999).**

### 5. Impact des éléments traces métalliques

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. **(Gupta et al., 2019).**

## Chapitre I : Synthèse bibliographiques

**Tableau 02** : Types des métaux lourds et effets sur l'environnement (Anne et al., 2005).

Métaux	Effets sur l'eau	Effets sur le sol	Effets sur la santé humaine
Plomb (Pb)	S'accumule dans le corps des organismes aquatiques	Accumulation dans le sol, saturnisme des animaux du sol	Troubles nerveux, sanguins et rénaux, troubles du comportement chez l'enfant : agressivité, comportement impulsif, hyperactivité.
Cadmium (Cd)	Organismes s'accumulant dans les moules, les huîtres, les crevettes, les langoustines et les poissons	Accumulation dans la chaîne alimentaire et qui peut causer la mort.	Affections respiratoires et troubles rénaux Fracture des os
Cuivre (Cu)	Il perturbe l'activité des sols agricoles, est bio accumulé par les animaux et est particulièrement toxique pour les moutons	Bio accumulable par la flore et faune aquatique	Irritation au nez, à la bouche et aux yeux A fortes doses dommages aux reins et au foie et même la mort
Zinc (Zn)	Peut interrompre l'activité du sol, bioaccumulation du zinc dans la chaîne alimentaire	Augmente l'acidité des eaux, bioaccumulation du zinc dans la flore et la faune marine	Crampes d'estomac ; des irritations de la peau, l'anémie. endommage le pancréas et perturber le métabolisme des protéines et provoquer de l'artérioclose à de fortes doses.

### Partie 03 : les sites miniers

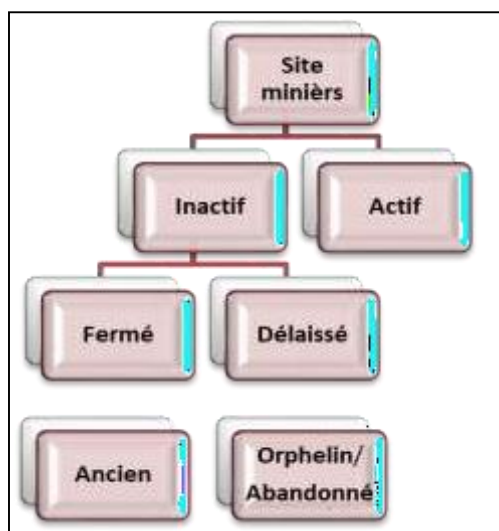
#### 1. L'activité minière et ses rejets

L'activité minière a été depuis longtemps l'un des piliers fondamentaux de l'économie mondiale. Cependant, elle engendre de grandes quantités de résidus miniers nocifs pour l'environnement, suite à leur contact avec l'air et l'eau, ce qui entraîne l'oxydation des minéraux contenus dans la gangue, la formation du drainage minier, ainsi que la mobilité des éléments métalliques. Ces rejets forment un groupe de contaminants hautement toxiques pour l'homme la faune et la flore (Benzaazoua et al., 1999).

#### 2. Les statuts d'un site minier

- **Site minier actif** : Lieu où se déroulent présentement des activités minières.
- **Site minier inactif** : Site où plus aucune activité minière n'est réalisée.

- **Site minier fermé** : Un ancien site minier actif pour lequel l'exploration, l'extraction ou le traitement est terminé, et dont toutes les exigences réglementaires actuelles requises ont été remplies.
- **Site minier délaissé** : Un site inactif qui n'a pas été fermé et ayant aucun propriétaire connu.
- **Site minier abandonné (Site minier orphelin)** : Les problèmes sociaux ainsi que les terres inutilisables peuvent entraîner des problèmes de santé. Un site minier est considéré comme abandonné si un propriétaire solvable (autre que le gouvernement) ne peut être identifié pour l'installation minière ou si l'installation a été restituée à la Couronne (Bussière *et al.*, 2005). C'est donc le gouvernement qui hérite de la responsabilité de le restaurer correctement.



**Figure 03.** Les différents statuts d'un site minier (LTD C. D, 2005).

### 3. Impacte des sites miniers sur l'environnement

Les mines abandonnées ont causé et continuent à causer de nombreux problèmes à l'environnement. Les métaux lourds issue de ces mines, sont par la plupart, à des teneurs élevées constituent un danger pour la santé publique lorsque ceux-ci parviennent à contaminer les eaux. Aussi la pollution des eaux par les métaux lourds au voisinage des mines a-t-elle été souvent signalée dans la littérature, Cela entraîne la nécessité de connaître l'état de pollution des eaux et les mécanismes géochimiques qui gouvernent la migration des métaux lourds depuis les rejets miniers vers les eaux souterraines et superficielles (Jabour, 2003).

### **Impacte des sites miniers sur la qualité de sol**

Le remaniement du sol par les activités minières perturbe les propriétés biologiques et physicochimiques ainsi que la structure du sol. Par exemple : les machineries lourdes contribuent au compactage des sols. Ce ci accentuent le ruissellement et réduit la capacité du sol à absorber l'eau.

Un sol plus compacte et plus imperméable ne pourra procurer le niveau d'humidité propice à la croissance des plantes et engendrera la perte de microorganisme de matière organique et de semence naturelle. L'excavation des sols et la construction des infrastructures et des routes d'accès peuvent laisser des empreintes écologiques considérables sur les écosystèmes établis sur un terrain délimité par un bail minier. Ces perturbations défavorisent les écosystèmes terrestres et contribuent à accentuer l'érosion et ruissellement. Le déboisement détruit aussi des habitats d'espèce animales qui risquent de consommer de la nourriture contaminée (**Murray, 2014**).

### **Impacte des sites miniers sur la qualité des eaux**

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 discours 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 d'utilisation eau par 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**).

### **Impacte des sites miniers sur la santé humaine**

Les risques pour la santé associée à l'exploitation minière sont classés en risques chimiques biologiques, biomécaniques, physiques et psychosociaux. Traite également des risques particulièrement importants pour les groupes vulnérables tels que les enfants, les femmes en âge de procréer et les femmes enceintes (**OMS, 2017**).

### 4. Site minier fermé

Depuis le début des années 1990, avec l'avènement d'une législation locale renforcée pour la remise en état des mines, la planification de fermeture de mine est devenue d'une importance capitale pour les sociétés minières.

Il est essentiel de planifier la fermeture de la mine en avance, afin d'éviter de futur risques environnementaux et sociaux. Les meilleures pratiques et les obligations légales actuelles imposent que toutes les mines soient « conçues pour leur fermeture », et les plans de fermeture avec des garanties financières (tels que les dépôts de caution) sont souvent requis dans les conditions d'obtention de permis.

La mise en œuvre des plans de fermeture implique des études techniques, la création de plans de construction et l'assurance et le contrôle qualité de la construction, la gestion des contrats, la réalisation de travaux de conception-construction et un programme d'essai et de suivi (notamment après la fermeture). Les études de faisabilité et les plans d'exploitation comprennent aussi souvent une planification durable de la fermeture et de la remise en état. [4]

# Chapitre II

## Matériel et méthodes

## **Chapitre II : Matériel et méthodes**

### **1. Présentation de la région de Boudoukha**

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

Le champ minier de Boudoukha est un secteur où l'exploitation minière a été très développée. Le gisement de Boudoukha (filon Hubert) a été découvert en 1900, ce filon a été exploité pendant 23 ans, l'exploitation a commencé en 1900 et fut menée jusqu'en 1955 avec des interruptions entre 1914-1948. 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., 2017**).

#### **1.2. Situation géographique**

La mine abandonnée de Boudoukha est située à 5km à l'ouest du village d'Ain-kechera, elle se trouve dans la partie sud de la petite Kabylie centrale et plus exactement dans la région de Béni-Tifout qui se localise à plus d'une cinquantaine de kilomètres à l'Est de Jijel (**Fig.4**).



**Figure 04.** Photo satellite de la région de Boudoukha (**Google Earth, 2023**).

### 1.3. Climatologie générale

Un climat tempéré chaud est présent à Boudoukha. En moyenne la température est de 17.6°C et il tombe approximativement 964 mm de pluie par an (Köppen, 2012).

### 1.4. La végétation

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

### 1.5. Hydrologie

Le gisement est délimité par le massif montagneux Béni Tiffout au nord et le massif de Naira au sud, formant une série de dorsales océaniques. Entre ces deux massifs coule oued El Ressal, affluent d'oued Boussiaba, qui lui-même se jette dans oued El Kébir, à 2 km au nord-ouest d'El Milia (Bourahla, 2011).

## 2. Echantillonnage et technique de prélèvement

### 2.1. Station de prélèvement

Notre étude est portée sur l'évaluation des risques de pollution des sols et des eaux de surface au voisinage de la mine abandonnée de Boudoukha (Fig.05), et pour se faire nous avons effectué des analyses physicochimiques et le dosage des métaux lourds.

L'échantillonnage a été réalisé en mois de mars et Mai 2023.

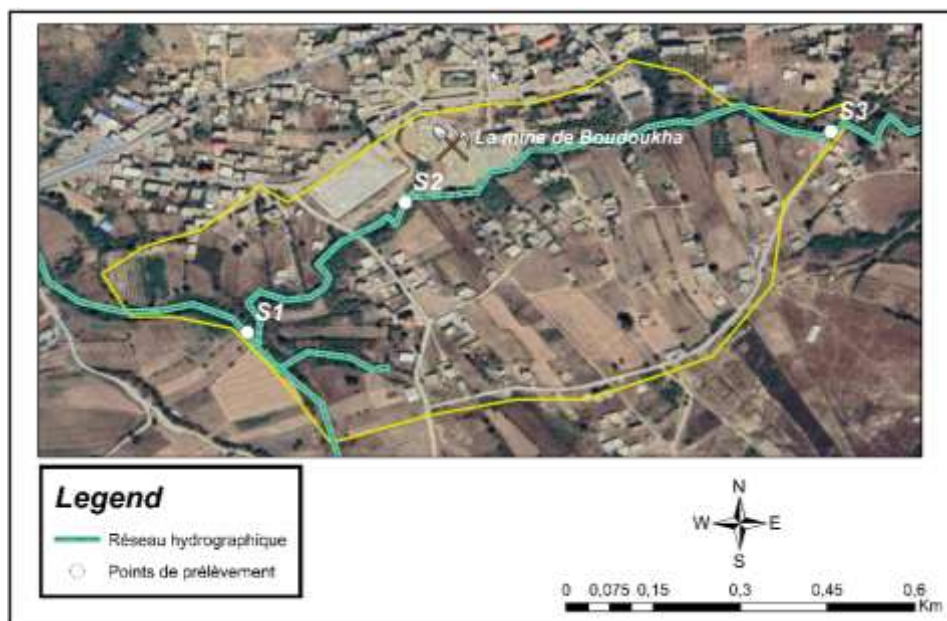


Figure 05 : Carte de localisation des stations de prélèvement.

### 2.2. Prélèvement et conservation

Les échantillons ont été récupérés dans des flacons jetables en matière plastique (PET) d'un litre. Au moment de la prise d'échantillon, les flacons sont ouverts, remplis avant d'être refermés, étiquetés et stockés dans une glacière à une température de 4 C°.

L'échantillonnage de sol a été procédé le 26 Avril 2023. Le prélèvement des échantillons de sol de deux horizons (de 0-25 cm et de 25-50 cm) a été réalisé à l'aide d'une tarière en l'enfonçant manuellement dans le sol par un mouvement de rotation dans le sens des aiguilles d'une montre.

La tarière a été retirée avec précautions pour laisser le sol à sa place, tel qu'il était dans le terrain. Les échantillons sont ensuite placés dans des sacs en plastique étiquetés et hermétiquement fermés.

Les analyses d'eau ont porté sur les paramètres suivants :

- Les paramètres physiques : pH, T (C°), Conductivité électrique (CE), la dureté, MES.
- Les paramètres chimiques : Chlorures (Cl<sup>-</sup>), Nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), Nitrates, demande chimique en oxygène (DCO), demande biochimique en oxygène (DBO5) et Oxygène dissous (OD), Ammonium.
- Les paramètres métalliques : le cuivre (Cu), le fer (Fe), le chrome (Cr).

Les analyses des sols effectués sont : pH, Conductivité électrique, Calcaire total, Humidité et matière organique.

**Tableau 03.** Méthodes d'analyses des paramètres physico-chimiques

<b>Paramètre</b>	<b>Méthodes d'analyse</b>	<b>Unité</b>
<b>pH</b>	pH-mètre	-
<b>T</b>	Thermomètre	°C
<b>CE</b>	Conductimètre	µs /cm
<b>Oxygène dissous</b>	Conductimètre	mg/l
<b>Dureté</b>	Spectrophotomètre UV	Dh°
<b>Nitrites</b>	Spectrophotomètre UV	mg /l
<b>Nitrate</b>	Spectrophotomètre UV	mg /l
<b>MES</b>	Filtration	mg /l
<b>Chlorure</b>	Spectrophotomètre UV	mg /l
<b>DBO5</b>	DBO mètre	mg /l
<b>DCO</b>	Spectrophotomètre UV	mg /l
<b>Ammonium</b>	Spectrophotomètre UV	mg /l
<b>Cuivre</b>	Spectrophotomètre UV	mg /l
<b>Fer</b>	Spectrophotomètre UV	mg /l
<b>chrome</b>	Spectrophotomètre UV	mg /l
<b>Calcaire totale</b>	Calcimètre de Bernard	%
<b>Humidité</b>	Séchage à l'étuve	%
<b>Matière organique</b>	Titrimétrie	%

### **3. Méthode d'analyse d'eau**

#### **3.1. Température**

La température est un facteur écologique important du milieu. Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, en effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, la dissociation des sels généralités sur les eaux usées donc dissous sur la conductivité électrique, la détermination du pH et pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels. De plus en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau. (Rodier *et al.*, 1996).

### 3.2. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du et du bassin versant traversé (Bermond et Vuichard, 1973). Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques entre l'eau, le gaz carbonique dissous, les carbonates et les bicarbonates qui constituent des solutions tamponnées conférant à la vie aquatique un développement favorable. Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris habituellement entre 6 et 8,5 alors que dans les eaux tièdes, celui-ci être compris entre 5 et 9 (HCEFLCD, 2007)

Le principe est basé sur la différence de potentiel de l'électrode immergée par rapport à une référence à une température donnée. (Fig.06).

#### Mode opératoire

- Allumer l'appareil en appuyant sur le bouton Marche/Arrêt qui se trouve sur l'appareil
- Laver soigneusement l'électrode de PH avec l'eau distillée puis avec la solution à analyser
- Plonger l'électrode de PH dans l'échantillon
- Attendre la stabilisation du PH environ 15 min
- Lire le résultat du PH sur l'écran d'affichage du PH-mètre



Figure 06. Photographie de l'appareil de mesure de pH, O2 et Conductivité électrique.

### 3.3. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine) de  $1\text{cm}^2$  de surface et séparée l'une de l'autre de 1cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m) :  $1\text{S}/\text{m} = 10^4 \mu\text{S}/\text{cm} = 10^3\text{S}/\text{m}$ . La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'Origine d'une eau (HCEFLCD, 2006).

### Mode opératoire

- Allumer l'appareil en appuyant sur le bouton marche /Arrêt qui se trouve sur l'appareil **figure 07**.
- Laver soigneusement l'électrode de la conductivité avec l'eau distillée puis avec la solution à analyser
- Plonger l'électrode dans l'échantillon
- Lire le résultat de la conductivité sur l'afficheur du conductimètre
- Le résultat est exprimé en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ou  $\text{M}\Omega/\text{cm}$



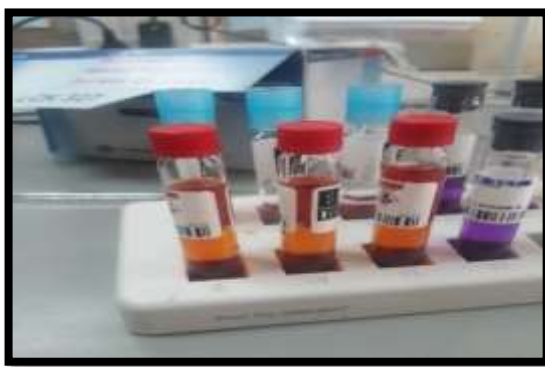
**Figure 07.** Photographie d'un pH-mètre, conductimètre de type SI Analytics PRO Lab 2500

### 3.4. Dureté

La dureté ou titre hydrométrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Elle s'exprime en milliéquivalents de concentrations en  $\text{CaCO}_3$  (**Rodier, 2009**). La dureté est encore appelée dureté calcique et magnésienne ou consommation de savon.

### Mode opératoire

- Verser l'eau à analyser dans le tube à essai jusqu'au repère.
- Ajouter goutte à goutte le réactif titrant.
- Toutes les 2 gouttes, boucher le tube à essai avec la paume de la main et agiter vivement.
- Dès que la mousse persiste, la dureté est neutralisée (**Fig.08**).



**Figure 08.** Photographie de la détermination de la dureté.

### 3.5. Nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les bactéries nitratâtes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates. Les nitrates ne sont pas toxiques ; mais des teneurs élevées en nitrates provoquent une prolifération algale qui contribue à l'eutrophisation du milieu. Leur potentiel danger reste néanmoins relatif à leur réduction en nitrates (**Rodier, 2009**).

L'ion nitrate réagit avec la brucine dans une solution d'acide sulfurique assez concentrée on obtient une solution de couleur jaune. La concentration de l'ion nitrate est proportionnelle à l'intensité de la coloration on travaille dans gamme (0-500 pm) a une longueur d'onde de 410 nm. (**Fig.09**).

#### Mode opératoire

- Verser 5 ml de la PE dans un bécher (1) de 50 ml
- Ajouter 1 ml de la solution brucine sulfurique (500-75)
- Mettez dans un bécher (2) 10ml de l'acide sulfurique (500-75)
- Mélanger les deux béchers le (1) dans (2). Répéter le mixage 6 fois
- Laissez le mélange reposer pendant 10 min dans l'ombre
- Après que la couleur se développe ajouter 10 ml d'eau distillée dans le contenu du bécher
- Après 10 min d'intervalle rajouter encore 10 ml d'eau distillée et mixer 6 fois
- Laissez refroidir le mélange pendant 20 à 30 min dans l'ombre
- la mesure a une longueur d'onde de 410 nm



**Figure 09.** Photographie d'un spectrophotomètre UV

### 3.6. Nitrites (NO<sub>2</sub>-)

Les ions nitrites (NO<sub>2</sub>-) un stade intermédiaire entre l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) et les ions nitrate (NO<sub>3</sub>).

Les nitrites constituent un poison dangereux pour les organismes aquatiques, même à de très faibles concentrations. La toxicité augmente avec la température (**Rodier, 2009**).

#### Mode opératoire

- Mettez 40 ml d'eau à analyser (échantillon).
- Ajouter 1ml réactifs colorés
- Compléter avec l'eau distillée jusqu'à 50 ml
- Après 20 min temps de repose
- Effectuer la mesure a une longueur d'onde de 540nm.

### 3.7. L'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

La forme réduite de l'azote souvent rencontrée dans les eaux usées et qui constitue le premier stade de dégradation de la matière organique azotée. Sa présence peut avoir comme origine probable la réduction des nitrates et des nitrites (**Marcel, 1989**).

En milieu alcalin et en présence de nitroprussiate qui agit comme un catalyseur, les ions Ammonium traités par une solution de chlore et de phénol donnent du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage colorimétrique (**Franck, 2002**).

### Mode opératoire

- On introduit dans une fiole jaugée de 100ml, 20ml d'eau à analyser
- On ajoute rapidement 1ml de solution de nitroprussiate de sodium et de phénol puis 1ml de solution chlorée.
- Après agitation, on laisse la fiole à l'obscurité pendant 6 heures au moins.
- On effectue la lecture au spectromètre à la longueur d'onde de 630 nm.

### 3.8. Chlorure (Cl)

Le chlorure est un anion inorganique important à des concentrations variables Dans les eaux naturelles, il est généralement présent sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme indices de pollution (**Makhoukh et al., 2011**). Surcharge Les chlorures dans l'eau peuvent causer un mauvais goût, surtout lorsqu'il s'agit de Chlorure de sodium (**Bouziari, 2000**).

La réaction d'ions chlorure avec du Thio cyanate de mercure donne du chlorure mercurique (II) peu dissocié. Il y a simultanément libération d'une quantité équivalente d'ions Thio cyanate qui forment avec des sels ferriques (III) du Thio cyanate ferrique (III).

#### Mode opératoire

Gamme de mesure (I) (1-7 mg/L)

- Pipette 1.0 ml d'échantillon.
- Fermer la cuve et mélanger le contenu en la retournant plusieurs fois de suite.
- Attendre 3 min, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.

Gamme de mesure (II) 70-1000 mg/L

- Pipette 0.1 ml d'échantillon
- Fermer la cuve et mélanger le contenu en la retournant plusieurs fois de suite.
- Attendre 3min, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesure.

### 3.9. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présente dans l'eau quelle que soit leur origine organique ou minérale (**Rejsek, 2002**).

Les substances oxydables régissent avec le bichromate de potassium sulfurique, en présence de sulfate d'argent. Le chlorure est masqué avec du sulfate de mercure. La diminution de la coloration jaune du  $\text{Cr}^{6+}$  est mesurée par photométrie.

### Mode opératoire

- Mélanger le contenu pour avoir une solution homogène.
- Pipeter 2.0 ml d'échantillon avec précaution.
- Fermer la cuve et nettoyer l'extérieur de celle-ci.
- Mélanger.
- Chauffer dans le thermostat. (**Fig.10**).
- DCO classique : 2 h à 148 °C
- HT 200 S : 15 min avec le programme standard HT
- Sortir la cuve chaude.
- DCO classique : Retourner 2× avec précaution
- Laisser refroidir à température ambiante.
- DCO classique : dans le support de cuve
- HT 200 S : dans le thermostat
- Bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesure.



**Figure 10.** Photographie d'un DCO bloc chauffant.

### 3.10. Demande biochimique en oxygène (DBO5)

Les micro-organismes oxydent les composés organiques biodégradables entraînant consommation d'oxygène ; par conséquent, l'environnement impose certaines exigences biochimiques oxygène. La mesure de la DBO permet d'évaluer la teneur en eau des substances

Matière organique biodégradable, donc, dans une certaine mesure, sa qualité ou son degré polluer. La dégradation complète de la matière organique peut prendre un temps relativement long (quelques semaines). D'autre part, les dérivés d'ammoniac et les nitrites sont oxydés en nitrate (nitrification) absorbe l'oxygène. Cette nitrification dans les eaux naturelles ne démarre pas Au bout d'une dizaine de jours. Pour ces deux raisons, BOD prend 5 jours (ou DBO5). (Lounnas, 2009)

### Mode opératoire

- Rincer la bouteille d'incubation avec l'échantillon à analyser
- Introduire 432cc d'échantillon dans la bouteille
- Ajouter deux gouttes de la solution tampon
- Introduire le barreau magnétique dans la bouteille
- Mettre quelques pastilles d'hydroxyde de potassium (KOH) dans le bouchon en plastique
- Placer la bouteille dans son compartiment et visser la tête
- Régler le zéro sur la réglette
- Après cinq jours d'incubation à 20°C, lire directement sur la réglette la valeur de la DBO5 (en mg/d'O2). (Fig.11, Fig.12).



**Figure 11.** Photographie d'un incubateur.      **Figure 12.** Photographie d'un DBO mètre

### 3.11. Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension contiennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Ces matières utilisent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et, par conséquent, la photosynthèse. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau (Merabet, 2010).

### Mode opératoire

- Prendre 200ml l'échantillon (effluent).
- Peser un verre fritté vide (A).
- Filtrer l'échantillon dans le verre fritté sous aspiration. (**Fig.13**).
- Après filtration le mettre dans un four à 100°C.
- Après 2 heures de séchage, le mettre dans un dessiccateur pour le refroidissement.
- Après séchage peser le verre fritté plein (B).

### Calcul

$$S = \frac{(A - B) \times 1000}{V}$$

Dont :

V. Volume d'échantillon.



**Figure 13** : Photographie d'équipement de filtration

### 3.12. L'oxygène dessous

Le dosage d'O<sub>2</sub> est très important car il détermine l'état de plusieurs sels minéraux la dégradation de la matière organique et de la faune aquatique (**Rodier, 1996**).

### Mode opératoire

- Un flacon de 100 ml est rempli jusqu'au bord de l'eau à analyser en prenant soin de ne pas introduire de bulles d'air.
- On prépare une solution (A) de 8 g de chlorure de manganèse(II) MnCl<sub>2</sub>. 4H<sub>2</sub>O dissous dans 10 ml d'eau.

- On prépare une solution (B) de 5 g d'hydroxyde de sodium (NaOH) et 4 g d'iode de potassium dissous dans 10 ml d'eau.
- A l'aide d'une pipette, on dépose 0,5 ml d'A et 0,5 ml de B au fond du flacon d'eau à analyser.
- On ferme le flacon sans inclure de bulle d'air
- On agite
- On attend jusqu'à ce que le trouble se soit formé. 5. On décante la solution claire au-dessus du précipité et on l'écarte.
- On ajoute 2 ml d'acide phosphorique (minimum 85 %)
- On attend 10 minutes jusqu'à la formation complète de l'iode
- On titre l'iode par une solution de thiosulfate de sodium 0,1 mol/l. En fin de titration on ajoute quelques gouttes d'une solution d'empois d'amidon à 1% fraîchement préparée.

### 3.13. Fer totale

Le fer se trouve de manière importante dans les eaux souterraines car c'est un élément de la croûte terrestre à raison de 4,5 à 5%. Sa présence dans l'eau dépend des conditions physiques et hydrologiques (lessivage des terrains, rejets industriels, corrosion des canalisations métalliques). Une eau destinée à la consommation humaine ne doit pas contenir plus de 0,3 mg/L de fer. **(Potelon et Zysman, 1998).**

#### Mode opératoire

- Pipette soigneusement 2,0 ml d'échantillon.
- Fermer la cuve d'échantillon et mélanger le contenu en la retournant plusieurs fois de suite jusqu'à dissolution du lyophilisat.
- Après 5 minutes, mélanger à nouveau. Bien nettoyer l'extérieur de la cuve d'échantillon.
- Insérer la cuve de l'échantillon dans le compartiment pour cuves. Photomètre avec Barcode-System : Choisir l'évaluation pour Fer II(FeII).
- Au niveau de spectrophotomètre DR 6000 : Accéder à méthodes LCK/TNT plus.
- Sélectionnez Programmes de codes à barres. Choisir le numéro du test et l'évaluation pour Fer II (Fe II). Appuyez sur MESURER 1.
- Retirer la cuve d'échantillon.
- Vissez un DosiCap A sur la même cuve.

- Retourner la cuve plusieurs fois jusqu'à ce que le lyophilisat se soit complètement dissous.
- Après 5 minutes, retourner de nouveau, bien nettoyer l'extérieur de la cuve d'échantillon et mesurer.
- Insérez la cuve dans le porte-cuve.
- Dans le spectrophotomètre DR 6000 : Appuyez sur MESURER 2. Le résultat est affiché en Fer II , Fer totale et Fer III. (**Fig.14**).



**Figure 14.** Photographie d'un spectrophotomètre de type DR 6000

### 3.14. Chrome (Cr)

Le chrome est un métal blanc, blanc, brillant, dur et cassant, de numéro atomique  $Z= 24$  de masse atomique 51,996 g/mol (**Alzieu, 1999**), Il est naturellement présent dans la croûte terrestre et principalement sous forme de chromite ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ). Les principaux cancers attribués au Chrome et à des dérivés produisent d'une exposition par inhalation, ses sels induisent une dermatite de contact allergique (**Lachambreet al., 2007**).

La diphényl-1.5-carbazide réagit avec les ions-chrome (V) et forment la diphényl-1.5-carbazone qui donnent avec le chrome (VI) un complexe coloré rouge.

#### Mode opératoire

- Enlevez délicatement la feuille de protection du DosiCap Zip détachable. Dévissez le DosiCap Zip.
- Pipeter 2.0 ml d'échantillon.
- Vissez le DosiCap Zip ; dirigeant le cannetage vers le haut.
- Secouer énergiquement

- Chauffer dans le thermostat.
  - HT 200 S : 15 min avec le programme standard HT thermostat : 60 min à 100°C
  - Ne pas mélanger la cuve après la digestion. Laisser refroidir à température ambiante.
  - Attention ! pour les échantillons troubles et/ou colorés après oxydation, reportez-vous svp au point « remarque importante » du mode d'emploi.
- LP1W / LP2W /CADAS100 : mesurer la cuve d'analyse (= valeur à blanc).
- Visser un DosiCap B (LCK 313B) de couleur orange sur la cuve.
- Mélanger le contenu de la cuve en la retournant plusieurs fois de suite. Attendre 2 min, mélanger de nouveau, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.

### 3.15. Cuivre

Le cuivre est un métal très courant car il est utilisé dans de nombreuses applications industrielles et dans la vie courante. Il présente l'originalité d'être peu toxique pour l'homme mais fortement toxique pour les plantes aquatiques. C'est pour cela qu'il est utilisé pour éliminer les algues dans les piscines. Il est donc important de limiter la concentration dans les eaux de surface (ATTEAI, 2005)

#### Mode opératoire

- Pipeter 2,0 ml d'échantillon.
- Fermer la cuve et mélanger le contenu jusqu'à dissolution du lyophilisat.
- Attendre 3 min, mélanger de nouveau, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer

## 4. Méthodes d'analyses du sol

### 4.1. Le pH (potentiel d'hydrogène)

Les analyses physico-chimiques du sol ont été effectuées au niveau de centre de recherche en biotechnologie (CRBT)- Ali mendjli- Constantine.

#### Mode opératoire :

- Peser 10g du sol.
- Ajouter 25ml d'eau distillée dans bécher de 100 ml.
- Agiter pendant 1 heure avec un agitateur magnétique.
- Laisser reposer 2 heures.
- Mesure le pH à l'aide du pH mètre.

### 4.2. La conductivité électrique

#### Mode opératoire

- Peser 10g du sol.



**Figure 15** : Photographie de mesure de la conductivité électrique.

- Ajouter 50 ml d'eau distillée dans un bécher de 100 ml.
- Agiter pendant 30 min avec un agitateur magnétique.
- Filtrer
- Mesurer la CE à l'aide d'un conductimètre (**Fig.15**).

### 4.3. Mesure d'humidité.

On procède à une dessiccation de l'échantillon à analyser dans une étuve aux températures de 100°C à 105°C, sous la pression atmosphérique jusqu'à l'obtention d'une masse pratiquement constante. Pour éviter toute reprise d'humidité, il convient d'opérer dans des vases de tare, placés dans un dessiccateur (**Fig.16**).

#### Mode opératoire

- Peser un creuset de porcelaine et noter le poids.
- Ajouter environ 10g d'échantillon et noter le poids total.
- Pour la détermination d'humidité, transférer pour la nuit le creuset dans une étuve à 105 °C. Le lendemain, laisser refroidir le creuset au dessiccateur pendant au moins 4 heures) et peser.



**Figure 16** : Photographie des creusets de porcelaine au cours de séchage.

#### **4.4. Calcaire totale**

Le Calcimètre de Bernard permet de mesurer, à pression et à température constante (pression atmosphérique et température ambiante) le volume de gaz carboniques résulte de l'attaque d'un poids déterminé d'une terre ou d'une roche calcaire par l'acide chlorhydrique (AFNOR, 1987).

##### **Mode opératoire**

- Dans un échantillon tamisé ; prélever 1g de terre fine.
- Verser la prise d'essai dans l'erenmeyer et introduire le tube contenant HCL en prenant soin de garder le tube vertical et ne pas le verser sur la prise d'essai
- Relier l'erenmeyer au Calcimètre.
- Equilibrer les pression en ramenant à zéro de la colonne le niveau d'eau de l'ampoule par le dispositif prévu.
- Verser l'acide contenu dans le tube sur la prise d'essai en inclinant la fiole et agiter énergiquement en tenant la fiole par le col et en évitant tout échauffement.
- Suivre et équilibrer en permanence le niveau d'eau de la colonne et celui de l'ampoule.
- Noter le volume V1 après stabilisation du volume de gaz dégagé.
- Dans les mêmes conditions et avec les mêmes réactifs.
- Procéder à une prise d'essai de 0.3 g de  $\text{CaCO}_3$ .
- Noter le volume correspondant V2.

##### **Calcul**

$$\text{CaCO}_3 = \frac{-V_1 \times 0.3 \times 100}{p \times V_2} = \frac{V_1 \times 30}{p \times V_2}$$

Dont :

**V<sub>1</sub>** : lecture de volume d'échantillon

**V<sub>2</sub>** : lecture de volume de témoin

**P** : poids de terre fine utilisée

**0.3** : poids de CaCO<sub>3</sub> pour témoin

#### **4.5. La matière organique**

La méthode Walkley-Black repose sur le principe que le bichromate de potassium oxyde le carbone contenu dans le sol. Le bichromate de potassium change de couleur selon la quantité de produits réduits et ce changement de couleur peut être comparé à la quantité de carbone organique présent dans le sol. Cette méthode permet de mesurer le carbone organique. Elle ne peut être utilisée si les sols contiennent plus de 20 % de matière organique.

##### **Mode opératoire.**

- L'échantillon de sol doit être broyé et tamisé à 0–11 mm pour cette méthode.
- Peser (0,25 ou 2g) selon la charge de sol dans un erlenmeyer 250 ml et y ajouter 10 ml de dichromate de potassium 1 N Ajouter 20 ml d'acide sulfurique concentré (**Fig.17**).
- Agiter vigoureusement pendant 1 minute et laisser reposer pendant 30 minutes.
- Ajouter 100 ml d'eau, 10 ml d'acide orthophosphorique et 2 ml de la solution indicatrice de diphénylamine.
- Titrer l'excès de dichromate de potassium avec le sulfate ferreux 0,5 N.
- Lors de l'apparition de la coloration violette ou bleue, titrer lentement jusqu'à la coloration finale verte.
- Les témoins doivent être analysés juste avant le titrage des échantillons de sols.



Figure 17 : Photographie de protocole de dosage de matière organique

Calcul :

$$\% C = \frac{X - Y * (10\text{ml} * 0,004 * 100)}{\text{Poids du sol (g)} * X}$$

Dont :

**X** : la quantité de solution indicatrice utilisée pour titrer le témoin.

**Y** : la quantité de solution indicatrice utilisée pour l'échantillon à doser.

**0,004** : Facteur d'équivalence.

$$\text{MO}\% = \text{C}\% * 1,724$$

Dont :

**1,724** : Coefficient conventionnel.

# **Chapitre III**

## **Résultats et discussion**

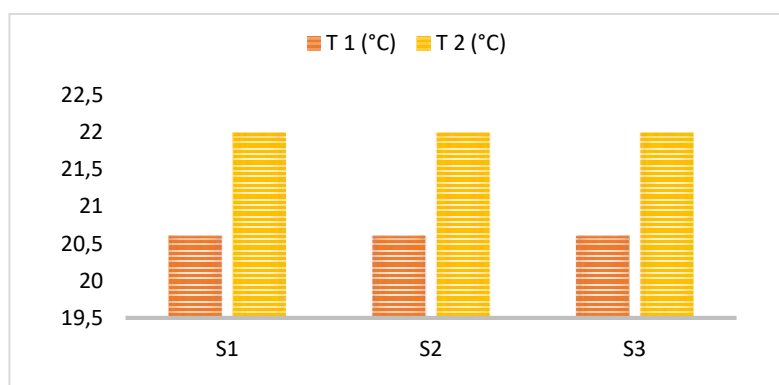
## Chapitre III : Résultats et discussion

### 1. Paramètres physicochimiques des eaux de surface

L'augmentation de l'activité anthropique a contribué, au cours des dernières décennies à augmenter le potentiel de contamination des sols et eaux de surface. Des analyses physicochimiques sont traités afin d'assurer une gestion rationnelle des ressources naturelles en vue de les protéger (Ben Daoud *et al.*, 2011).

#### 1.1. La température (C°)

Les résultats sont représentés dans la figure ci-dessous



**Figure 18.** Résultats d'évolution de la température (°C) des différents échantillons d'eaux.

La température de l'eau, est un facteur écologique important. Il affecte la densité la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous et les réactions chimiques et biochimiques et le développement et la croissance des organismes aquatiques. (Makhoukh *et al.*, 2011).

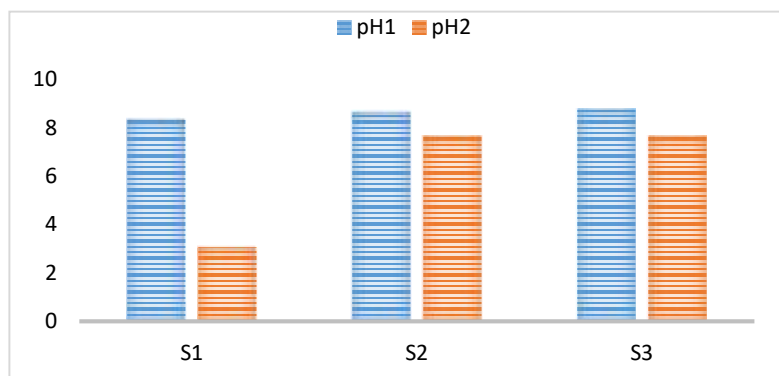
D'après les résultats obtenus, nous avons remarqué qu'il existe une différence notable de température entre les deux prélèvements.

Une température de 20,5°C a été enregistrée en mois de mars, tandis que la température des prélèvements de mois de mai est 22°C, qui peut être expliqué par l'avancement de la saison.

Ces résultats sont conformes à la température des eaux naturelles (25 C°) fixée par **Journal officiel de la république algérienne 2011**.

### 1.2. Le potentiel hydrogène (pH)

Les résultats sont représentés dans la figure ci-dessous



**Figure 19.** Résultats d'évolution de pH des différents échantillons d'eaux.

Le pH mesure la concentration en ions  $H^+$  de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14,7 (**Rodier, 1984**).

D'après les résultats obtenus, le pH d'oued Boudoukha montre une différence significative entre les échantillons prélevés dans la première et la deuxième sortie.

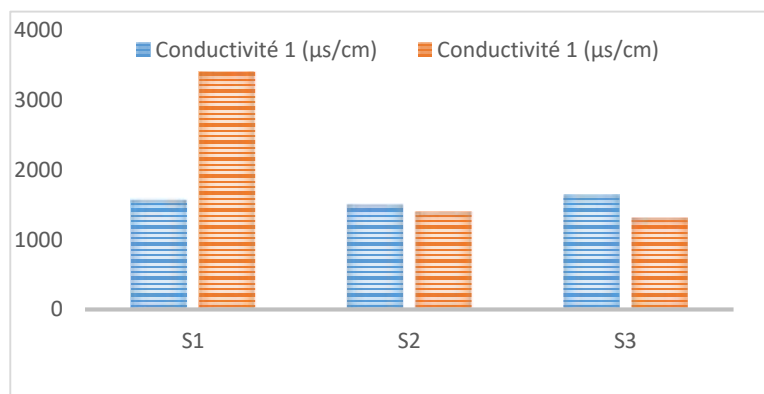
Le pH des échantillons récupérés en mois de Mars sont étalés entre 8,33 et 8,77, dont la valeur de pH la plus élevée a été enregistrée au niveau de S3 ; tandis que la mesure de pH des échantillons récupérés en mois de mai ont donné des valeurs estimés entre 3,07 et 7,65.

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. Sauf que la valeur de pH enregistré par l'échantillon S1 prélevé en moi de Mai ne se trouve pas dans l'intervalle normal.

Cette énorme différence entre le pH des différents échantillons peut être expliquée par les variations de température avec l'avancement de la saison.

### 1.3. La conductivité électrique (CE)

Les résultats sont illustrés dans la figure suivante



**Figure 20.** Résultats d'évolution de la conductivité ( $\mu\text{s/cm}$ ) des différents échantillons d'eaux.

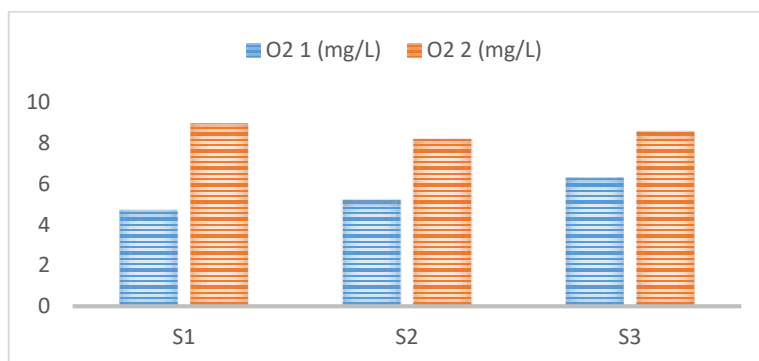
La conductivité mesure le degré de minéralisation d'une eau où chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique (Makhoukh *et al.*, 2011).

Une différence très nette a été observée entre les résultats de mesure des échantillons de premier et de deuxième prélèvement. La conductivité des échantillons récupérés en mois de mars sont étalés entre 1495 et 1638, tandis que la mesure de conductivité des échantillons récupérés en mois de mai a donné des valeurs estimés entre 1317 et 3400.

Majoritairement ces résultats sont compatibles avec les normes définies par le **journal officiel de la république algérienne (2011)** consistant à  $2800\mu\text{s/cm}$ . Sauf que la valeur enregistrée par l'échantillon S1 prélevé en mois de mai n'est pas conforme à normes autorisées.

### 1.4. L'Oxygène dissous

Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous



**Figure 21.** Résultats d'évolution du O2 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).

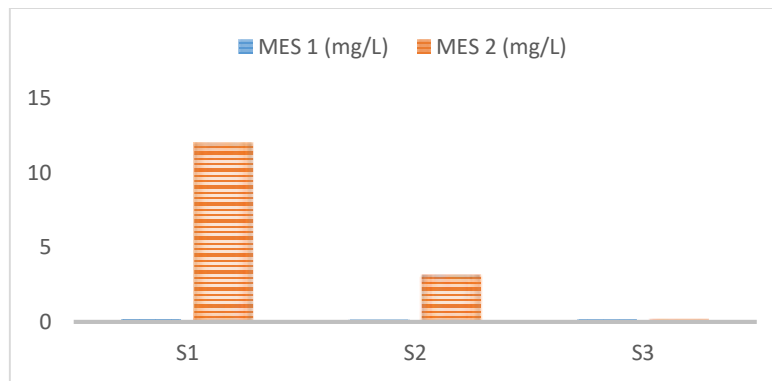
D'après les résultats obtenue dans la (figure 27) pour l'ensemble des prélèvements au niveau d'oued Boudoukha, l'oxygène dissous présente des variations importantes d'un point à un autre, elle varie de 4.7 mg/L à 6.27mg/L dans les échantillons prélevés en mois de mars, tandis que les échantillons récupérés en mois de mai ont donné des valeurs estimées entre 8.96mg/L et 8.56 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. Sauf celles-ci enregistrées par les échantillons S1et S2 d'avril dépassent la fourchette de valeur recommandée.

Les facteurs qui peuvent mener à la réduction ou l'augmentation de l'O<sub>2</sub> dissous sont l'augmentation de la température de l'eau et la décomposition de grandes quantités de la matière organique.

#### 1.5. Matière en suspension (MES)

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



**Figure 22.** 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).

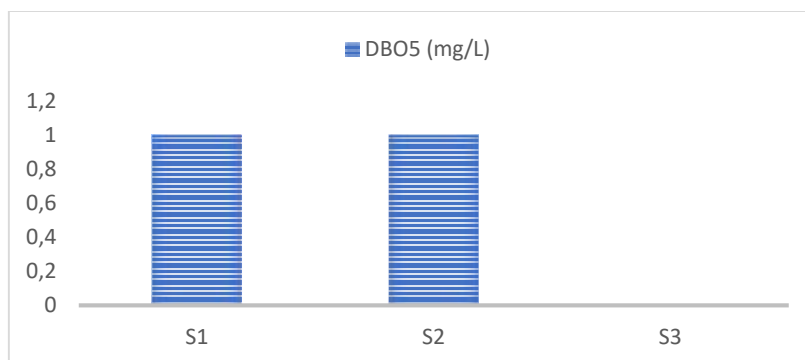
D'après les variations de la MES enregistrés par les échantillons des deux prélèvements nous avons observés une énorme différence entre les résultats d'analyse des deux prélèvements.

Les valeurs enregistrées par les échantillons récupérés en mois de mars sont étalés entre 0,13 mg/L et 0,116 mg/L, bien que les valeurs de deuxième prélèvement soient estimées entre 0,2

mg/L et 12 mg/L. Ces valeurs sont nettement inférieures à la norme fixée à 25mg/L par le **Journal officiel de la république algérienne 2011**.

#### 1.6. La DBO<sub>5</sub>

Les variations de la DBO<sub>5</sub> sont illustrés dans la figure ci-dessous



**Figure 23.** Résultat du DBO<sub>5</sub> (mg/L) des différents échantillons d’eaux.

La concentration de DBO<sub>5</sub> des échantillons de premier prélèvement varient entre 0 et 1 mg/L. dont la valeur nulle a été enregistrée au niveau de S3, tandis que les échantillons S1 et S2 ont marqué une similarité de 1 mg/L.

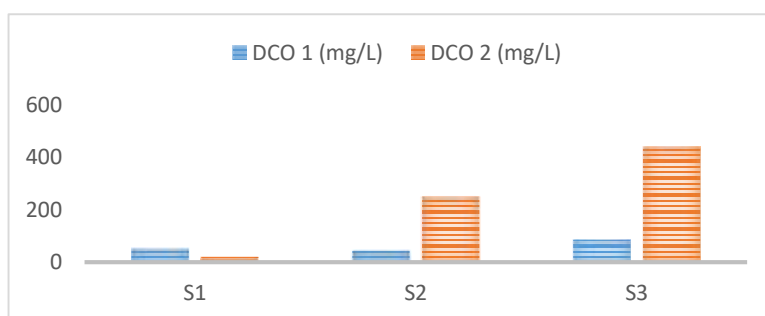
En corrélant ces résultats avec **Le journal officiel de la république algérienne 2011** qui indique que le DBO<sub>5</sub> des eaux naturelles ne doit pas dépasser 7mg/L, on conclue que tous les valeurs sont normales.

Il faut souligner qu’une DBO<sub>5</sub> nulle n’est pas toujours le signe de bonne qualité des eaux car elle peut être due à des rejets toxiques responsable de déclin des microorganismes. **(Benayache, 2014)**.

Les variations de la DBO<sub>5</sub> sont influencées par le type et la quantité de micro-organismes présents, le pH, la température, ainsi que la teneur en sels nutritifs.

#### 1.7. La DCO

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



**Figure 24.** Résultats d’évolution de 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 entre la DCO des échantillons des deux prélèvements (mars et mai).

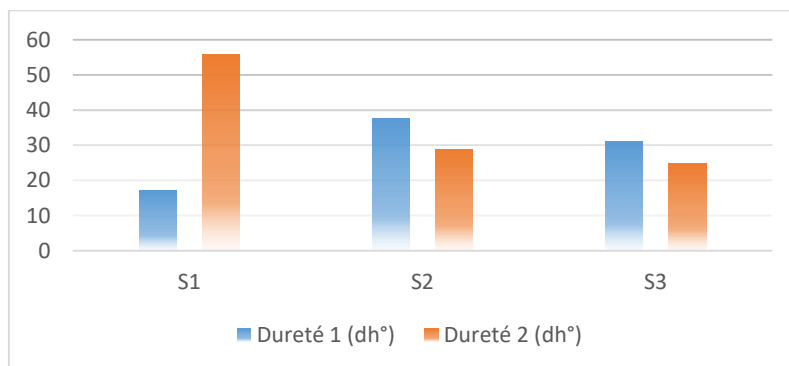
La DCO des échantillons récupérées mois de mars sont étalés entre 51,5 et 85,3 mg/L dont la valeur de DCO la plus élevée a été enregistrée au niveau de S3 ; tandis que la mesure de DCO des échantillons récupérés en mois de mai a donné des valeurs estimés entre 20.3 et 440mg/L.

D'après le **journal officiel de la république algérienne 2011** qui dit que la DCO des eaux naturelles ne doit pas être supérieure à 30 mg/L, on déduit que nos résultats ne sont pas conformes aux normes autorisées.

En général, des niveaux élevés de DCO suggèrent des niveaux élevés de pollution, mais cela pourrait aussi provenir de sources naturelles.

#### 1.8. Dureté

Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous :



**Figure 25.** Résultats d'évolution de dureté (dh°) des différents échantillons d'eaux.

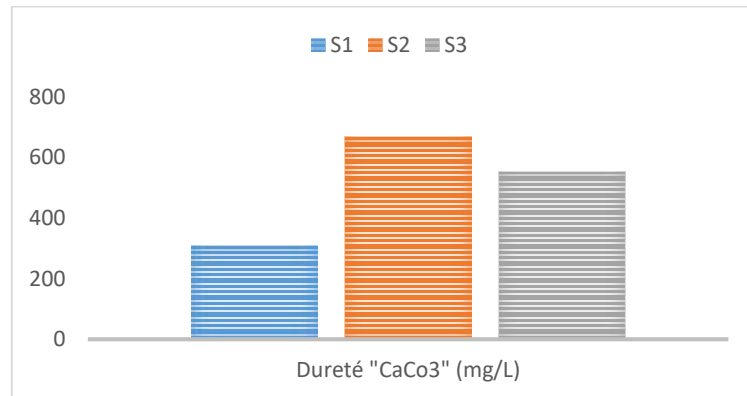
Le TH indique la teneur globale en sels de calcium et magnésium qui sont responsables de la dureté de l'eau dans la plupart des eaux naturelles. Généralement le calcium contribue au TH dans la proportion de 70 à 90%. (**Diffusion tous publics – V3 – Octobre 2013**)

La dureté des échantillons récupérées mois de mars sont étalés entre 17,2 et 31 dh° dont la valeur de dureté la plus élevée a été enregistrée au niveau de S2 ; tandis que la mesure de dureté des échantillons récupérés en mois de mai ont donné des valeurs estimés entre 24,8 et 55,7 dh°.

Selon les normes indiquées par la réglementation algérienne et celle de l'OMS fixant la dureté des eaux naturelles à une valeur de 20 dh°, on observe que l'immense majorité de nos résultats ne sont pas conformes aux normes, sauf que la valeur de la dureté enregistrée par l'échantillon S1 prélevé en moi de mars se trouve dans la plage normale.

#### 1.9. Dureté CaCO<sub>3</sub>

Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous



**Figure 26.** Résultats d'évolution de dureté CaCO<sub>3</sub> (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 calcium et magnésium (Rodier, 1984), elle est aussi un indicateur de la minéralisation de l'eau.

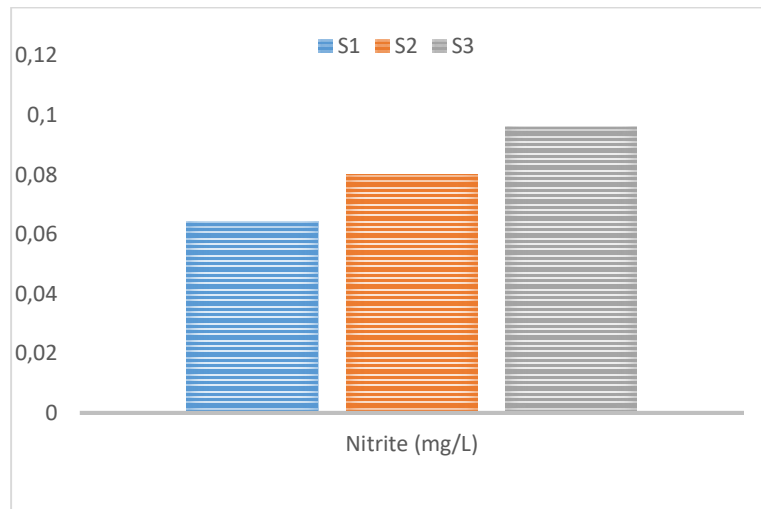
D'après les résultats obtenus, la dureté CaCO<sub>3</sub> d'oued Boudoukha montre une différence significative entre les échantillons prélevés des trois stations.

La dureté CaCO<sub>3</sub> des échantillons récupérés en mois de mars sont étalés entre 307 et 667 mg/L dont la valeur de dureté CaCO<sub>3</sub> la plus élevée a été enregistrée au niveau de S2.

Selon les normes de **Journal officiel de la république algérienne 2011** fixant la dureté CaCO<sub>3</sub> des eaux naturelles à une valeur plafond de 200 mg/L, la dureté CaCO<sub>3</sub> de différentes zones de prélèvement d'Oued Boudoukha est ne coïncident pas avec la limité autorisée.

### 1.10. Nitrite

Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous



**Figure 27.** Résultats d'évolution de nitrite (mg/L) des différents échantillons d'eaux.

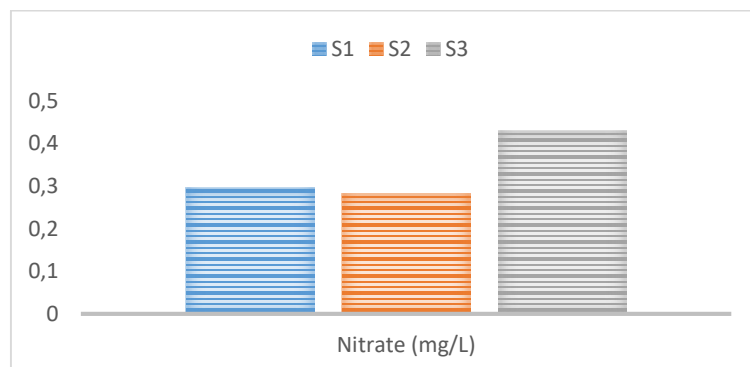
Les nitrites sont les indicateurs de la pollution. Elles proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammonium soit d'une réduction des nitrates (**Lagnika et al., 2014**)

Sur la base des résultats obtenus et illustrés dans la figure ci-dessus, il y a une augmentation des valeurs de nitrite lors de la commutation entre les sites d'échantillonnage, dont la valeur la plus élevée est celle de S3 et la plus faible a été observée au niveau de S1.

Selon **Journal officiel de la république algérienne N° 18** fixant le nitrite des eaux naturelles à 0,2 mg/L comme valeur maximale, on peut dire que les valeurs de nitrite de différentes zones de prélèvement d'Oued Boudoukha sont conformes aux normes.

### 1.11. Nitrate

Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous



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

Les nitrates proviennent de la réaction de nitrification de l'azote ammoniacal par les bactéries autotrophes nitrifiantes en présence d'oxygène dissous (**Deronzier et al., 2001**).

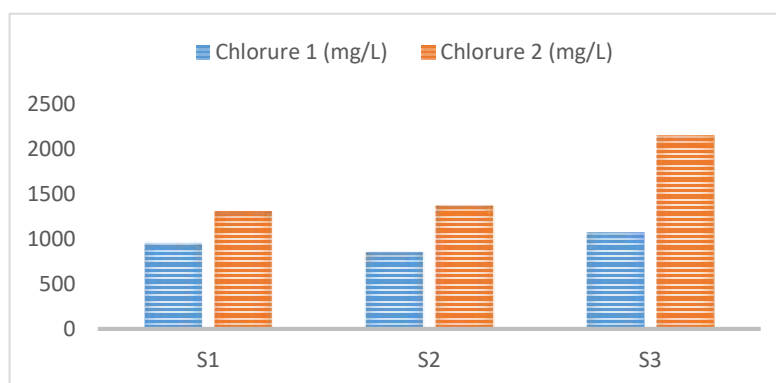
Ils ne sont pas toxiques à faibles teneurs, mais leur présence à des teneurs élevées dans les eaux usées provoque une prolifération algale qui contribue à l'eutrophisation du milieu récepteur (**Rejsek, 2002**).

Les résultats obtenus sont étalés entre 0,283 et 0,429 mg/L dont la valeur de nitrate la plus élevée a été enregistrée au niveau de S3 et la plus faible est celle de S2.

Selon Le **Journal officiel de la république algérienne N° 18** fixant le nitrate des eaux naturelles dans un intervalle de 50 mg/L, le nitrate de différentes zones de prélèvement d'Oued Boudoukha se trouve dans la fourchette normale.

#### 1.12. Chlorure

Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous



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

Les eaux trop riches en chlorures sont laxatives et corrosives (**Humbert et Pommier, 1988 in Tarik, 2005**), La concentration des chlorures dans l'eau dépend aussi du terrain traversé.

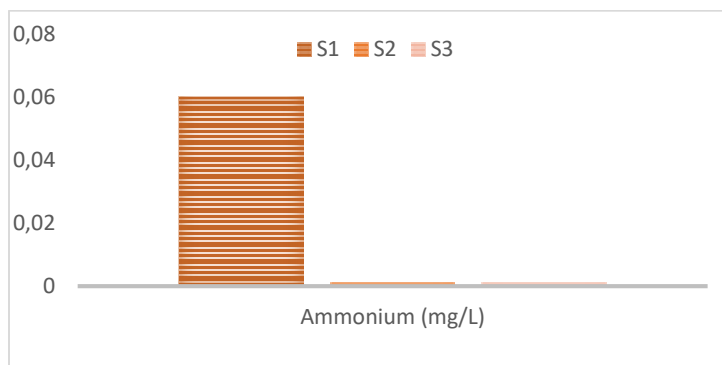
D'après les résultats obtenus, le chlorure d'oued Boudoukha montre une différence claire entre les échantillons prélevés dans la première et la deuxième sortie.

Les valeurs de chlorure des échantillons récupérées mois de mars sont étalés entre 853 et 1072 mg/L, dont la valeur de chlorures la plus élevée a été enregistrée au niveau de S3 ; tandis que la mesure de chlorures des échantillons récupérés en mois de mai ont donné des valeurs estimés entre.1310 et 2151 mg/L.

Selon le **journal officiel de la république algérienne N° 18** fixant la norme des chlorures des eaux naturelles à un maximum de 600 mg/L, les valeurs obtenues ne sont pas conformes aux normes autorisées.

#### 1.13. L'Ammonium $NH^{+4}$

Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous



**Figure 30.** Résultats d'évolution d'Ammonium (mg/L) des différents échantillons d'eaux.

Dans l'eau, L'azote réduit soluble se retrouve sous deux formes ; l'ion ammonium ( $NH_4^+$ ) et la seconde non dissociée communément appelée ammoniacque ( $NH_3$ ). (**Gaujour, 1995**)

En ce qui concerne la toxicité de l'ammoniacque, il est reconnu que ce n'est pas la forme ammoniacque ionisée qui est toxique, mais celle non ionisée dont la proportion dépend du pH et de la température (**Rodier, 1996**).

Les résultats des analyses d'ammonium des échantillons prélevés ont une valeur maximum au niveau de S1, alors que les autres échantillons ne représentent que des traces.

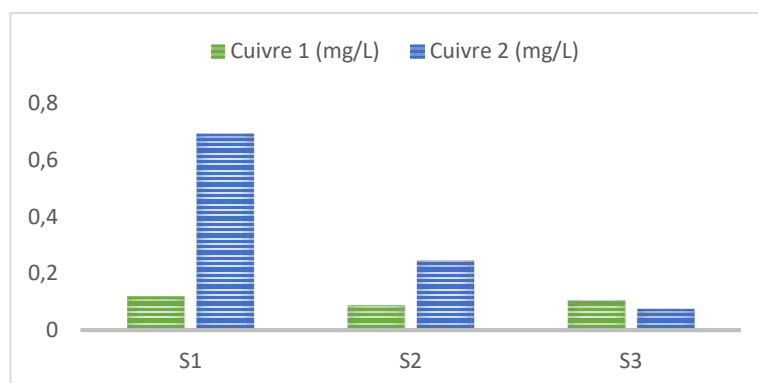
Selon le **journal officiel de la république algérienne N° 18** qui indique que l'ammonium ne doit pas dépasser 0,5 mg/L, On constate que nos résultats sont conformes aux normes.

Les faibles doses d'ammonium dans les eaux naturelles peuvent être expliquées par l'influence du pH basique.

#### 1.14. Le Cuivre (Cu)

Le cuivre est un des rares métaux qui existe à l'état natif. L'occurrence du cuivre natif est cependant assez faible (**Hurlbut et Klein, 1982**). Il est moyennement abondant dans la croûte terrestre pour être un métal lourd (**Wedepohl, 1995**).

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure ci-dessous



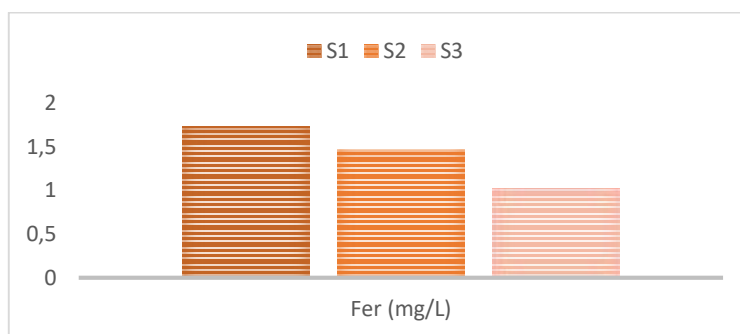
**Figure 31.** Résultats d'évolution du cuivre (mg/L) des différents échantillons d'eaux.

D'après résultats obtenus et la figure ci-dessus, on constate une différence bien marquée entre les doses de Cu détectées dans les échantillons des deux prélèvements. Dont les valeurs enregistrées au niveau des échantillons prélevés en mois de mars sont comprises entre 0,106 et 0,119 mg /l, tandis que les valeurs notés des échantillons prélevés en mois de mai sont étalées entre 0,075 et 0,692 mg/L.

En comparant nos résultats à ceux obtenus par le **Journal Officiel De La République Algérienne N° 13** on constate que les valeurs de cuivre se concordent avec les normes officielles qui ne doivent pas être supérieure à 2 mg /l, les niveaux de cuivre dans les eaux d'oued Boudoukha sont généralement sans danger pour les êtres humains et les animaux.

#### 1.15. Le Fer totale (Fe)

Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous



**Figure 32.** Résultats d'évolution du Fer (mg/L) des différents échantillons d'eaux.

La présence de fer dans l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui précipitent le fer où corrodent les canalisations (**Guillemin et Roux ,1992**).

Les concentrations totales en fer des échantillons prélevés en mars sont estimées entre

1,73 et 1,02 mg/L, on constate une diminution de la teneur en fer quand on passe de S1 vers S2 à S3. Les niveaux de fer dans les eaux naturelles varient en fonction de plusieurs facteurs tels que la géologie, la saison, les précipitations et les activités anthropiques.

En corrélant nos résultats avec le **Journal officiel algérien datant de 23 mars 2011** les valeurs enregistrées restent supérieures à la valeur guide et qui est égale (0.3 mg/l) de la norme algérienne relative à la qualité des eaux naturelles.

Dans cette région, les niveaux de fer sont élevés en raison de la géologie ou de l'activité minière. Le fer peut être aussi libéré dans l'eau en raison d'une corrosion des tuyauteries.

#### **1.16. Le chrome (Cr)**

Élément indispensable pour les organismes, il est toxique à fortes concentrations. Il est utilisé dans différents domaines (métallurgie, catalyseur, verre, peinture). Il provient aussi des produits de blanchissage (**Moore et Ramamoorthy, 1984**).

Selon les normes algériennes les valeurs du chrome totale doivent pas dépasser 50 µg/l (**Journal Officiel De La République Algérienne N° 18**)

Nous avons détecté que des traces de chrome dans nos échantillons, cela indique que le niveau de ce métal est très faible dans les différentes stations de prélèvement et représente une bonne signification en termes de qualité de l'eau, puisque le chrome peut être toxique pour les organismes aquatiques à des niveaux élevés.

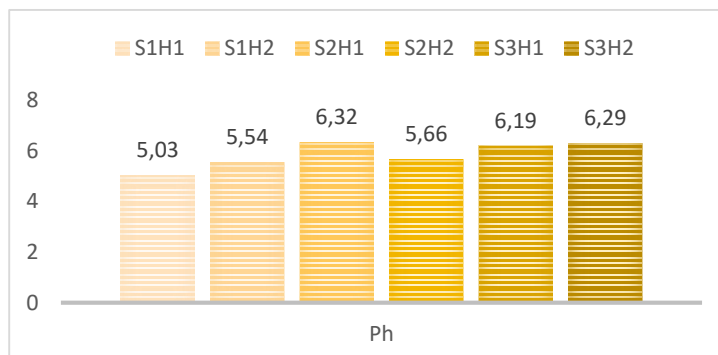
Il est également possible que la méthode d'analyse utilisée pour mesurer le chrome ne soit pas assez sensible pour détecter des niveaux très faibles de ce métal.

Dans ce cas, il est nécessaire d'utiliser une méthode d'analyse plus sensible pour être sûr de la quantité réelle de chrome dans les eaux de surface.

## 2. Paramètres physicochimiques du sol

### 2.1. Le pH

La figure ci-dessous représente les résultats de la mesure de pH

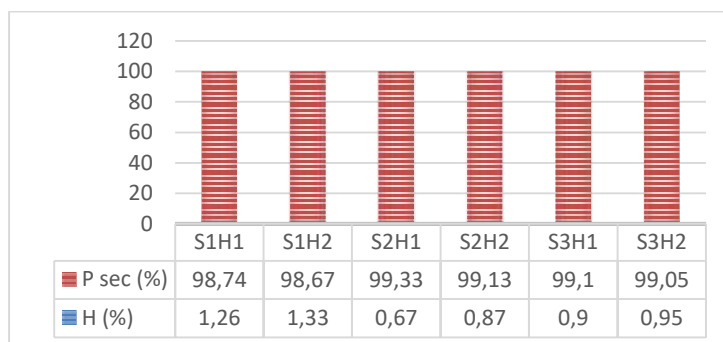


**Figure 33.** Résultats des variations du pH dans les échantillons de sol.

Le pH le plus élevé est noté dans l'échantillon du sol S2H1 avec une valeur de 6,32 et le plus faible au niveau du 5,03. On peut considérer cette différence comme négligeable.

Selon **Meliani (2018)**, le pH des échantillons S1H1, S1H2 et S2H2 sont acide, tandis que les autres échantillons sont légèrement alcalins.

### 2.2. L'humidité



**Figure 34.** Les variations du taux d'humidité (%) et poids secs des échantillons du sol.

D'après les résultats obtenus, on constate que tous les échantillons du sol ont un taux d'humidité très faible.

### 2.3. La conductivité électrique

Les résultats de mesure de la CE sont illustrés dans la figure suivante

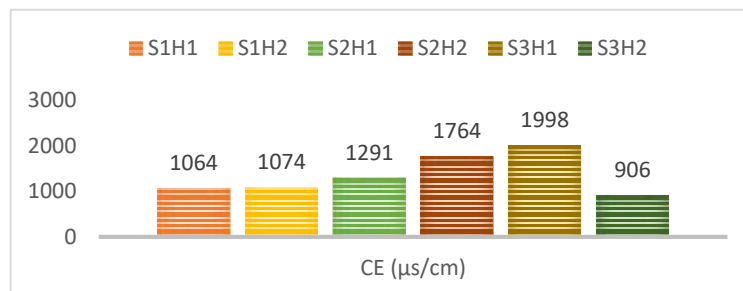


Figure 35. Variation de la CE (μS/cm) mesurée dans les sols.

La conductivité électrique du sol est une mesure importante car elle est fortement corrélée à la teneur en sels et minéraux dans le sol (Ryan *et al.*, 2001).

La mesure de la CE nous a permis de mesurer le niveau de salinité des échantillons du sol étudiés. Elle varie entre une valeur minimale (906 μS/cm) enregistrée au niveau de deuxième horizon de S3 et une valeur maximale (1998 μS/cm) enregistrée par l'échantillon prélevé de premier horizon de même station.

D'après Delaunois (1976), on peut classer les différents échantillons de sols selon leur degré de salinité dans le tableau ci-dessous.

Tableau 04 : Echelle de salinité du sol (Delaunois, 1976).

Echantillons	Conductivité électrique (μS/cm)	Salure
S1H1	1064	Peu salé
S1H2	1074	Peu salé
S2H1	1291	Peu salé
S2H2	1764	Salé
S3H1	1998	Salé
S3H2	906	Peu salé

## 2.4. Calcaire total

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure ci-dessous

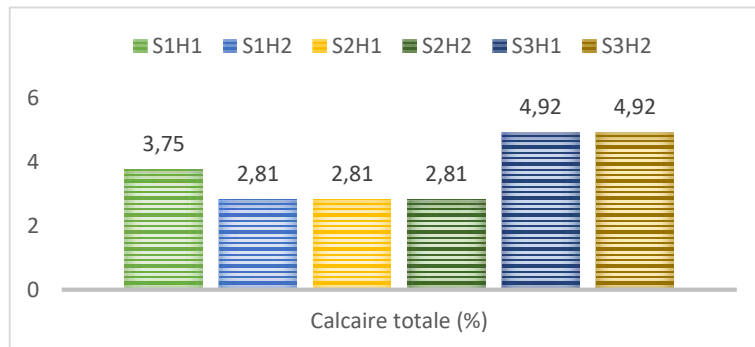


Figure 36. Variations de calcaire total (%) mesurée dans les sols.

Le calcaire total et le calcaire actif désignent la mesure du pourcentage du calcaire contenant le sol (Douafer, 2015).

Selon Meliani (2018), dès que le taux du calcaire total atteint 5 % (de la terre fine) il devient nécessaire de mesurer son activité.

Les résultats enregistrés après mesure du calcaire total (%) sont étalés entre 2,82% et 4,92%. Ce qui indique que tous les échantillons analysés sont légèrement calcaire. (Duchauffour, 1970).

## 2.5. La matière organique (MO)

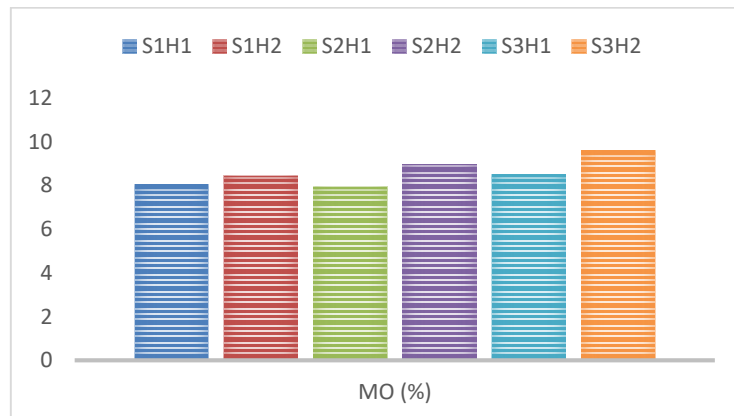


Figure 37. Variations de la matière organique (%) des échantillons du sol.

Les sols étudiés contiennent un taux de matière organique varie entre une valeur minimale de 7,91 % observée au niveau S2H1 et une valeur maximale de 9,60 % enregistrée par S3H2.

Selon Douafer (2015), La matière organique des sols étudiés et supérieur à la norme autorisée 5%.

# Conclusion

## **Conclusion**

Le travail réalisé avait pour objectif de contribuer en étude qualitative des sols et des eaux de surface au voisinage du site minier abandonné de Boudoukha. Pour cela des analyses physiques et chimiques ont été effectués. Trois stations de l'oued ont été sélectionnées pendant les campagnes de prélèvement qui sont déroulées en mois d'avril et mai.

Les différents résultats des analyses physicochimiques des eaux et sols ont montrés que la majorité des échantillons ne sont pas conformes aux normes recommandées. Nous avons informé également que la méthode de dosage des traces métalliques par spectrophotomètre UV ne soit pas assez sensible pour détecter des niveaux très faibles des métaux lourds, alors qu'il est recommandé d'utiliser des méthodes plus précises dont nous mentionnons l'ICP-MS et la Spectrométrie d'absorption atomique.

L'analyse des résultats obtenus nous a permis d'identifier la station la plus polluée. Étant donné que la plupart des analyses physicochimiques des échantillons prélevés de S1 ont donné des valeurs supérieures aux normes autorisées, notamment [la CE, l'O<sub>2</sub> dissous, la MES, la dureté, l'ammonium Fer et cuivre], on déduira que la S1 est plus contaminée. Tandis que la moins polluée est la S2 puisqu'elle a marqué les teneurs les plus faibles.

L'investigation physicochimique des sols de Boudoukha nous a donné que la station la plus affectée est la S3 en revenant aux résultats enregistrées par celle-ci et qui sont supérieures aux normes.

L'aire contaminée par la pollution métallique issue des déchets miniers abandonnés dans les sites de Boudoukha est très vaste suite à la dispersion par les sols et les réseaux hydriques des polluants résiduels des rejets miniers abandonnés sur place. Des mesures de remédiation doivent être prises afin d'immobiliser les polluants et limiter leur transport dans l'environnement.

# Références bibliographiques

## Références bibliographique

**AFNOR, 1988.** Prélèvement et dosage du plomb dans les aérosols. Paris-La Défense, sept 19.

**Akujobi, C.O., Odu, N.N., et Okorundu, S.I. 2012.** Bioaccumulation of lead by Bacillus species isolated from pig waste. Journal of Research in Biology. 2: 83-9.

**Alloway, B.J. et Steinhilber, E. 1999.** Anthropogenic additions of cadmium to soils. In: McLaughlin, M. J. and Singh, B. R., Eds. Cadmium in soils and plants, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 97-123.

**Bell, G.F, et Donnelly, J.L. 2006.** Mining and its Impact on the Environment. Taylor & Francis e-Library.

**Benayache, N-Y. 2014.** Evaluation de la pollution organique des eaux des barrages Hammam Grouz et Béni-Haroune, mémoire de Magistère. Université de Constantine.

**Ben-Daoud, M., Mouhaddach, O., Essahlaoui, A., Layachi, A., Kestemont, M.P., et El Jaafari, S. 2011.** Conception d'un SIG pour l'évaluation de l'impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux superficielles de la ville de Meknès (Maroc). Cahiers de l'Association Scientifique Européenne pour l'Eau et la Santé, 16(1) : 17-25.

**Benzaazoua, M. 2005.** Principaux défis et pistes de solution pour la restauration des aires d'entreposage de rejets miniers abandonnés. In Symposium 2005 sur l'environnement et les mines

**Benzaazoua, M., Bussière, B. 1999.** Effet du gonflement par les minéraux secondaires sur la qualité des remblais renfermant des sulfures. Actes du congrès APGGQ, Rouyn-Noranda, Québec, 55-77.

**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 Boumediène.

**Bourrelier, P.H., et Berthelin, J. 1998.** Contamination des sols par les éléments en traces: les risques et leur gestion. Rapport n°42, Académie des Sciences. (Ed). Lavoisier, 300p.

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

**Bouziyani, M. 2000.** L'eau : de la pénurie aux maladies. Ed. Ibn Khaldoun. Tlemcen. 247p.

**Bricha, S., Ounine, K., Oulkheir, S., El Haloui, N., et Attarassi, B. 2007.** Etude de la qualité physicochimique et bactériologique de la nappe phréatique M'nasra (Maroc), Afrique Science, vol 3, PP: 391 – 404.

**Bussière, B. 2005.** Principaux défis et pistes de solution pour la restauration des aires d'entreposage de rejets miniers abandonnés. In Symposium 2005 sur l'environnement et les mines.

**De Villers, J., Squilbin, M., et Yourassowsky, C. 2005.** Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général, Les données de l'IBGE : "L'eau à Bruxelles", v 228, 11KB, p2.

**Degbey, C., Makoutode, M., Fayomi, B., et Brouwer, C. 2010.** La qualité de l'eau de boisson en milieu professionnel à Godomey au Bénin, J Int Santé Trav, Vol 1, PP : 15- 22.

**Delaunois, A. 1976.** Travaux pratiques de pédologie générale. Ed INRA, Montpellier, 86 p.

**Deronzier, G., Schétrite, S., Racault, Y., Canler, J.P., Liénard, A., Héduit, A., et Duchène, P. 2001.** Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités, Document technique FNDAE n° 25, Cemagref. Antony (France).

**Di Benedetto, M. 1997.** Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation. Dossier SAM 1997. Les métaux lourds. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne, 49 p.

#### **DIFFUSION TOUS PUBLICS – V3 – Octobre 2013**

**Douafer, L. 2015.** Réponses in situ et en laboratoire de deux espèces communes de gastéropodes (*Helix aspersa* et *Helix aperta*) à une contamination des agrosystèmes par un insecticide néonicotinoïde (*Actara*): activité de l'ACHé et stress oxydatif. Thèse de doctorat, Biologie et physiologie animale, Annaba, 2015.

**Dubey, R.C., et Dwividi, R. 1998.** Effect of heavy metals on growth and survival of macrophomina phaseolina (Tassi) Goid. Biology and fertility of soils. N°6.

**Duchauffour, P. 1970.** Précis de Pédologie. Ed Masson et Cie. Paris, 212 p.

**DUSSARTB, 1966.** Limnologie : Etude des eaux continentales. Gauthier- Villars, Ed., Paris.

**Fiche 6 Enseignant\_** La pollution des eaux ; Coordination senne.

**FRANCK R, 2002.** Analyse des eaux, Aspects réglementaires et techniques. Edition Scérén CRDP AQUITAINE. Bordeaux, 165-239.

**GAUJOU, 1995.** La pollution des milieux aquatique. aide-mémoire. Edition technique et Documentation Lavoisier, P 220.

**Global Alliance on Health and Pollution (GAHP).** Summary guidance on soil screening levels (1). Version 1, December 2013.

**Grille de la qualité des eaux superficielles (ABH, 2009)**

**GUILLEMIN, C., et ROUX, J. 1992.** - La pollution des eaux souterraines. Manuels et Méthodes n° 23, éd. BRGM, 1-25.

**Gupta, N., Yadav, K.K., Kumar, V., Kumar, S., Chadd, R.P., et Kumar, A. 2019.** Trace elements in soil -vegetables interface: Translocation, bioaccumulation, toxicity and amelioration -A Journal Preproof Journal Pre-proof review. *Sci. Total Environ.* 651: 2927 - 2942. Duruibe, J.O., Ogwuegbu, M.O.C., Egwurugwu, J.N., 2007. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *Int. J. Phys. Sci.* 2: 112–118.

**Hashemi, M. 2020.** Heavy metals concentrations in dairy cow feedstuffs from the South of Iran, *Food Additives & Contaminants: Part B.* 13(1): 10-15.

**HCEFLCD, 2006.** Etude sur la pisciculture au barrage Almassira, CR dar CHAFAAI, Cercle d'ELBROUGE, Province de Settat, 201p.

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

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

**Hopkin, S.P. 1989.** Ecophysiology of metals in terrestrial invertebrates. Elsevier, Applied science, NY, USA, 366p

**Hurlbut, J.r, C.S. et Klein, C.1982.** Manual de Mineralogía de Dana. Editorial Reverté, Barcelona, 564 pp

**HUYNH, 2009.** « Impact des métaux lourds sur l'interaction plantes/ verre le terre/ microflore tellurique », thèse de Doctorat. Univ-Paris Est p169.

**IMPENS, R. 1991.** « Gestion des sols contaminés par les métaux lourds (synthèse bibliographique) », *Annales de Gemboux*, 97e année, n°4, pp. 253-276.

**JABOUR, J.L. 2003.** Mine-waste mineralogy and mineralogical perspectives of Acid-base accounting. In environmental aspects of mine wastes (eds. J.L. Jabour, D.W. Blowes and A.I.M. Ritchie).

**Jacques Beauchamp, 2006.** Article qualité et pollution des eaux souterraines Université de Picardie Jules Verne.

**Jain, R.K., Zendghi, C., et Jeremy, K.D., 2006.** Environmental Impact of Mining And Mineral Processing Management, Monitoring, and Auditing Strategies. Elsevier.

**JOURNAL OFFICIEL DE LA REPRIQUE ALGERIENNE (2011),** décret exécutif n°11-219 du 20 Rabie El Aouel 1432, correspondant au 12 avril 2011. Normes algérienne de qualité des eaux superficielles et souterraines destinée à l'alimentation en eau potable des populations. Journal Officiel de la république Algérienne Démocratique et Populaire.

**JOURNAL OFFICIEL DE LA REPRIQUE ALGERIENNE (2011)**, Décret exécutif n° 11-125 du 17 RabieEthani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.

**Makhoukh, M., Sbaa, M., Berrahou, A et Clooster, M. 2011.** Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc Oriental), Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 09, Décembre 2011, pp. 149-169

**Kabata-Pendias, A., et Pendias, H. 2001.** Trace elements in soils and plants. 3rd CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington D.C

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

**Lachambre, M., et Fission, C. 2007.** La contamination chimique : quel risque en estuaire de seine. Fiche substance : Le chrome, pp. 2-3.

**Lagnika, M., Ibikounle, M., Montcho, J.C., Wotto, V.D., et Sakiti, N.G. 2014.** Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des puits dans la commune de Pobè (Bénin, Afrique de l'ouest), Journal of Applied Biosciences, N°79, PP:6887– 6897.

**LOUE, A. 1993.** « Oligo-éléments en agriculture », Ed. Nathan, p45-177.

**LTD C.D, 2005.** Capacity building for a national inventory of orphaned/abandoned mines in Canada. Final Report, Prepared for the National Orphaned/Abandoned Mines Initiative Advisory Committee, p 9-44.

**Makhoukh, M., Sbaal, M., Berrahou, A. et Van, C.M. 2011.** Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc oriental). Larhyss Journal, n° 09, pp : 149-169.

**Marcel Doré, 1989.** Chimie des oxydants et traitement des eaux 60 - 61.

**Meliani, H. 2018.** protocoles courants des analyses des sols. Université Djillali Liabes De Sidi Bel Abbas, 2018.

**MERABETS, 2010.** Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et Distribuées du barrage réservoir de beni Haroun. Mémoire de magister chimie analytique. Université mentouri de Constantine. pp 4, 5,9.(MES) Mineralogical Association of Canada, vol.31, 117-145.

**Miquel, M. 2001.** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Rapport Sénat; (261):360.

**Morris, B.L., Lawrence, A., Chilton, P.J., Adams B., Calow, R.C., et Klink, B.A. 2003.** - Groundwater and its susceptibility to degradation; a global assessment of the problem and options for management. Report RS033 to UNEP, British Geological Survey, Wallingford, UK.

**MurrayCh, 2014.** Impacts environnementaux et mesures d'atténuation reliés à l'exploration et à l'exploitation de mines d'uranium. Mémoire de maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke, Canada.

**Murray, C. 2014.** Impacts environnementaux et mesures d'atténuation reliés à l'exploration et à l'exploitation de mines d'uranium. Doctoral dissertation, éditeur non identifié, p 39-40.

**Organisation mondiale de la Santé, 2017.** Risques pour la santé au travail et l'environnement associés à l'extraction minière artisanale et à petite échelle de l'or.

**Pérès, J.M, et al. 1976.** : la pollution des eaux marine, paridé. P :01-67-70-71-117.

**Potelon, J., et Zysman, K. 1998.** Le guide des analyses d'eau potable. Ed.la lettre du cadre territorial. Paris. France, 253p.

**Rejsek, F. 2002.** Analyse des eaux ; aspect réglementaire et techniques, Tome I. Edition Scrérén CRDPA quitaine, Bordeaux. 71, 144p (DCO)

**Rinklebe, J. 2019.** Health riskassessment of potentially toxic elements in soils along the Central Elbe River, Germany. Environ. Int. 126: 76–88.

**Rinklebe, J., Antoniadis, V., Shaheen, S.M., Rosche, O., et Altermann M. 2019.** Health riskassessment of potentially toxic elements in soils along the Central Elbe River, Germany. Environ. Int. 126: 76–88.

**Rodier, 2009.** L'analyse de l'eau 9ème édition, Dunod, Paris.

**RODIER, J. 1996.** L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer.6 eme édition: Dunod, Paris. 557-570p et 968-1079p.

**RODIER, J., et al. 2009.** L'analyse de l'eau, 9e édition. DUNOD (éditeur), Paris, France.1579 p.

**RODIER, J. 1984.** L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. 5ème Edition, Dunod, Paris, 1500 p.

**Rodier, J. 1996.** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer.8ème édition, DUNOD, Paris, 1383p. -Rodier J

**Rodier, J. 2009.** Analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer.9 ème édition. Éd. Dunod bordas, Paris. 1526 p.

**ROLAND, V. 2000.** Eau, environnement et santé publique

**Ryan, M.A., Williams, R.M., Fiebig, B.G., Coetex, R.H., Kisor, A.K., Shiels, V.B., et Homer, M.L. 2001.** Advances in electrodematerials for AMTEC. Spacetechnology and applications itern Forum 552(1) : 1088-1093.

- 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.
- SARIH, 2014.** Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source «Attar » (Tlemcen).
- Schmitzberger, K. 2008.** La prévention des pollutions, la pollution de l'eau, édition agence de l'eau, rhin-Meuse, p127-130.
- Schoonover Jon, E., et Crim, Jackie, F. 2015.** An Introduction to Soil Concepts and the Role of Soils in Watershed Management. Journal of Contemporary Water Research & Education, 154(1), 21-47.
- TARIKA, 2005.** –Qualité physico-chimique de l'eau de boisson et la solubilité de certains médicaments utilisés chez la volaille dans certaines Région du Maroc. Thèse pour l'obtention du doctorat vétérinaire IAVHassan . Rabat. Maroc, 183 pp
- Timmerman, J., Buytaert, W., Mishra, A., Zandaryaa, S., Connor, R., Stewart, B., Uhlenbrook, S., Koncagül, E., et Webley Net Amani, A. 2020.** Changements climatiques, eau et développement durable rapport mondial des nations unies sur la mise en valeur des ressources en eau: l'eau et les changements climatiques. UNESCO, Paris, 243p.
- Walaa, D. 2016.** Étude des propriétés physico-chimiques et colloïdales du bassin de la rivière Litani, Liban. Thèse de doctorat en géosciences. Faculté des sciences de la Terre. Université de Lorraine, 185p
- Wedepohl, H.K. 1995.** The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(7): 1217-1232.
- WEISS, D. 1999.** Archives of Atmospheric Lead Pollution. *Naturwissenschaften*. Mémoire de magister de l'université de Tlemcen-Algérie.

## Webographie

- [1] : [https://www.algeriepatriotique.com/wp-content/uploads/2017/11/eau-industrielle\\_bon.jpg](https://www.algeriepatriotique.com/wp-content/uploads/2017/11/eau-industrielle_bon.jpg). (Consulté le 11/05/2023)
- [2] : <https://www.journaldemontreal.com/2019/05/29/les-nombreux-pesticides-manquant-de-surveillance>. (Consulté le 11/05/2023)
- [3] : <https://static1.squarespace.com/static/583ca2f2d482e9bbef7dad9/t/5898f3ddff7c503111948643/1486418911598/pollutioneau.pdf>. (Consulté 11/05/2023)
- [4] : <https://www.srk.com/fr/services/fermeture-et-rehabilitation-de-sites-miniers> ( consulter le 13/05/2023)

Etat des sols et des eaux de surface contaminés par les éléments traces métalliques d'une mine abandonnée cas de la mine de Boudoukha (NE Algérien)

[5] Santé Canada (2003), Questions et réponses sur les dispositifs de traitement de l'eau de consommation, Accessible à: [www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/water-eau/faq\\_devices-dispositifs-fra.php](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/water-eau/faq_devices-dispositifs-fra.php)(le lien est externe), Consulté le 11 juin 2015.

# Annexe

*Annexe01*

**1. Préparation des réactifs pour le dosage de la MO dans le sol**

- Dichromate de potassium 1N: Dissoudre 49,04 g de dichromate de potassium dans de l'eau et compléter le volume à 1 litre.
- Sulfate ferreux heptahydraté 0.5N:

Dissoudre 139 g de sulfate ferreux dans 500 ml d'eau, y ajouter 40 ml d'acide sulfurique concentré et laisser refroidir. Compléter le volume à 1 litre avec de l'eau et bien mélanger (278 g pour 1N et 139 pour 0.5N).

**2. Les calculs**

**Tableau:** Résultats de calcul de C% et MO%.

<b>Echantillons</b>	<b>C%</b>	<b>MO%</b>
<b>S1H1</b>	4,68%	8,07%
<b>S1H2</b>	4,89%	8,43%
<b>S2H1</b>	4,59%	7,91%
<b>S2H2</b>	5,19%	8,95%
<b>S3H1</b>	4,93%	8,50%
<b>S3H2</b>	5,57%	9,60%