

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى جيجل

Faculté des Sciences de la Nature et de la  
Vie  
Département : Sciences de  
l'Environnement et Sciences  
Agronomiques



كلية علوم الطبيعة والحياة  
قسم: علوم البيئة والعلوم  
الفلاحية

## Mémoire de Master

Filière : Sciences Biologiques

Option : Toxicologie Fondamentale et Appliquée

### Thème

Monitoring de l'impact environnemental d'un site minier abandonné sur la qualité des  
eaux superficielles : cas de l'ancienne mine de Boudoukha (Wilaya de Skikda)

#### Membres de Jury

**Présidente :** Dr. Amira W.

**Examineur:** Dr. Krika A.

**Encadreur :** Pr.Mayache B.

#### Présenté par :

- Ayachi Djahida

- Roula Meriem

Année Universitaire 2018-2019

Numéro d'ordre (bibliothèque) :.....



## Remerciements

On désire adresser tous mes remerciements au tout puissant **DIEU ALLAH** qui nos donné la force et patience d'accomplir ce travail.

On tient tout d'abord à exprimer nos remerciements les plus sincères à notre encadreur **Pr.Maayache Boualem**, qui a accepté de diriger notre travail et qui n'a cessé de prodiguer ses conseils judicieux et permanents.

On tient à remercier **Dr.Krika** pour l'honneur qu'elle nous à fait en acceptant d'examiner ce travail.

On remercie **M<sup>me</sup> Amira** qui a bien voulu faire l'honneur de présider le jury.

On remercie tous les enseignants de département de biologie qui ont contribué à notre formation et surtout **M<sup>me</sup> Bencharif**, **M<sup>me</sup> Naili** et

**M<sup>me</sup> chine**.

A tout les personnes du laboratoire de la toxicologie.

Enfin, a tout ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loi à la réalisation de ce modeste travail.



## *Dédicace*

Je dédie ce travail :

A mes parents pour leur amour inestimable,  
leur confiance, leur soutien, leurs sacrifices et  
toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer.

A mes sœurs (Hana, Chanez, Selma et Lilia)  
et frères (Djallal et Titouf) pour leurs  
tendresses, leurs complicités et leur  
encouragement.

A tous les autres membres de ma famille  
Youcef, Badr et ma petite cousine Rania.

A tous mes amies et mes collègues.

A tout le mode musulman qui combatte pour  
avoir sa liberté.

*Roula Meriem*

*MERCI*

## *Dédicace*

Je dédie ce travail :

A mes parents pour leur amour inestimable, leur confiance, leur soutien, leurs sacrifices et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer.

A mes sœurs

Saida, Lamia, Khalida, Ibtissem et Madjda

Et frères

Hamza, Mostapha, Ziden, Mouloud, Ayoub et Younes  
Pour leurs tendresses, leurs complicités et leur encouragement.

A mes chères petites enfants

Nour elyakin, Tahani, Anfel, Djoumana, Khalil  
Djawad et Sohayb

A tous les autres membres de ma famille said

A tous mes amies et mes collègues de ma  
promotion Toxicologie fondamentale année 2019

*Djahida Ayachi*

*Merci*

## Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Liste des abréviations.....	iv
Liste des figures.....	vi
Liste des tableaux.....	vii

### Introduction

Introduction.....	1
-------------------	---

### Partie 01 : Synthèse bibliographique

#### Chapitre I : Généralités sur les eaux superficielles

1. Définition.....	2
2. Les différents types.....	2
2.1. Les cours d'eau.....	2
2.2. Les mares.....	2
2.3. Un estuaire.....	3
2.4. Une lagune.....	3
3. Les caractéristique d'eau.....	4
3.1. La turbidité.....	4
3.2. L'oxygène dissous.....	4
3.3. Matières en suspension (MES).....	4
3.4. Minéralisation globale / La salinité.....	4
4. Pollution d'eau.....	5
5. Les sources de pollutions d'eau.....	5
5.1. Source naturelle.....	5
5.2. Sources anthropiques.....	5
5.2.1. La pollution des eaux par les pesticides.....	5
5.2.2. La pollution des eaux par les métaux lourds.....	6
5.2.3. La pollution des eaux par les hydrocarbures.....	7

**Chapitre II : Les sites miniers**

1. Généralité sur les sites miniers.....	8
1.1. Définition du site minier.....	8
1.2. Les statuts d'un site minier.....	8
1.2.1. Site minier actif.....	8
1.2.2. Site minier inactif .....	8
1.2.3. Site minier fermé .....	8
1.2.4. Site minier délaissé .....	8
1.2.5. Site minier abandonné (Site minier orphelin).....	9
2. Les phases d'un projet minier.....	9
2.1. Prospection .....	9
2.2. Développement.....	9
2.3. Exploitation .....	10
2.3.1. La mine souterraine .....	10
2.3.2. La mine à ciel ouvert (MCO) .....	11
2.4. Evacuation des morts terrains et des déchets de roche: .....	11
2.5. Extraction du minerai .....	12
2.6. Enrichissement .....	12
2.7. Evacuation des résidus .....	12
3. Les mines abandonnées et pollution des eaux superficielles .....	12
3.1. Déchets provenant de l'extraction minière.....	12
3.2. Différents types de la pollution des eaux superficielles causée par l'extraction minière.....	14
3.2.1. Le drainage d'acide minier et la lixiviation des contaminants .....	14
3.2.2. L'érosion des sols et des déchets miniers dans les eaux de surface .....	14
3.2.3. Impacts des bassins de décantation des résidus, de déchets de roche, de la lixiviation en tas et des installations de stockage de lixiviats .....	15
3.3. Impacte des sites miniers sur l'environnement .....	16
3.3.1. Impacte des sites miniers sur la qualité de sol.....	16
3.3.2. Impacte des sites miniers sur la qualité d'air.....	16
3.4. Impacte des sites miniers sur la santé humaine.....	16

**Partie 02 : Partie expérimentale**  
**Chapitre III: Matériels et Méthodes**

I. Cadre de la zone d'étude.....	18
I.1 Présentation géographique de la Kabylie de Collo .....	18
I.2. Présentation de la région de Boudoukha.....	18
I.2.2. Climat .....	19
I.2.3. La végétation .....	19
I.2.4. Hydrologique.....	19
I.2.5.Historique et situation actuel du secteur minier en Algérie .....	19
I.2.6.Historique de site minier abandonné de Boudoukha.....	19
II. Echantillonnage et technique de prélèvement .....	20
II .1.Les stations de prélèvement et leur situation géographique .....	20
II .2.Prélèvement des échantillons.....	22
II .3.Transport et conservation des échantillons.....	22
III. Analyse des paramètres physico-chimique de l'eau .....	22
III. 1.Mesures sur terrain .....	22
III.2. Analyse au laboratoire.....	22
III.2.1.Dosage des nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) .....	22
III.2.3.Dosage des nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) .....	22
III.2.4.Dosage des orthophosphates (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ).....	23
III.2.5.Dosage des ammoniums (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).....	23
III.2.6.Dosage des chlorures (Cl <sup>-</sup> ) .....	23
III.2.7.Dosage des sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ).....	23
III.2.8.Demande biochimique en oxygène (DBO).....	23
III.2.9. Analyse des métaux lourds .....	24
IV. Analyse statistique .....	24

**Chapitre IV : Résultats**

Résultats.....	25
----------------	----

**Chapitre V : Discussions**

Discussions.....	36
------------------	----

**Conclusion**

Conclusion.....	45
-----------------	----

## Références bibliographiques

Références.....47

## Annexes

Annexe I.....I

Annexe II.....III



## Liste des figures

<b>Figure n°</b>	<b>Page</b>
Figure n°01 : Les différents Les statuts d'un site minier .....	8
Figure n°02: Coupe transversale d'une mine souterraine .....	10
Figure n°03 : Schéma d'une exploitation à ciel ouvert en fosse .....	11
Figure n°04 : Photo satellite de la région de Boudoukha.....	18
Figure n°05 : Situation géographique des stations de prélèvement .....	21
Figure n°06 : Photos des stations de prélèvements .....	21
Figure n°07 : Variation de la température dans les eaux superficielles .....	25
Figure n°08 : Variation du PH dans les eaux superficielles.....	26
Figure n°09 : Variation de la CE dans les eaux superficielles .....	27
Figure n°10 : Variation des concentrations d'oxygène dissous dans les eaux superficielles .....	27
Figure n°11 : Variation des salinités dans les eaux superficielles .....	28
Figure n°12 : Variation de TDS dans les eaux superficielles .....	29
Figure n°13 : Variation des concentrations des chlorures dans les eaux superficielles .....	30
Figure n°14 : Variation des concentrations des sulfates dans les eaux superficielles.....	30
Figure n°15 : Variation de DBO dans les eaux superficielles .....	31
Figure n°16 : Variation des concentrations des nitrates dans les eaux superficielles .....	32
Figure n°17 : Variation des concentrations des nitrites dans les eaux superficielles.....	33
Figure n°18 : Variation des concentrations d'orthophosphates .....	34
Figure n°19 : Variation des concentrations d'ammonium dans les eaux superficielles .....	34
Figure n°20 : Variation des teneurs en Cd .....	35
Figure n°21 : Variation des teneurs en Cu .....	36
Figure n°22 : Variation des teneurs en Zn... ..	36

---

**Liste des tableaux**

<b>Tableau n°</b>	<b>Page</b>
Tableau n°01 : Localisation des stations de prélèvement .....	20
Tableau n°02 : Valeurs moyenne et ecart type des paramètre physicochimique .....	25
Tableau n°03 : valeurs moyennes et écart type des éléments minéraux majeurs mesurés au laboratoire.....	29
Tableau n°04 : valeurs moyennes et écart type des paramètres de la pollution organique mesurés au laboratoire.....	31

---

**Liste des abréviations**

**ANOVA:** Analyses de la Variance

**Al:** Aluminium

**As:** Astate

**Cd :** Cadmium

**CE :** Conductivité Electrique

**Cl<sup>-</sup> :** Chlorures

**CO :** Monoxyde de carbone

**CO<sub>2</sub>:** Dioxyde de Carbone

**COV :** Composés Organiques Volatils

**Cu :** Cuivre

**DBO :** Demande Biochimique en Oxygène

**DMA :** Drainage Minier d'Acide

**DRA :** Drainage Rocheux Acide

**ETM:** Élément trace métallique

**Fe:** Le fer

**Fig. :** Figure

**FeS<sub>2</sub> :** Disulfure de fer

**GES :** Gaz à Effet de Serre

**H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>:** Acide carbonique

**H<sub>2</sub>S:** Sulfure d'hydrogène

**MES :** Matières en suspension

**MCO :** Mine à Ciel Ouvert

**Mn:** Magnésium

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

**Ni:** Nickel

**NO:** Monoxyde d'azote

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

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

**O<sub>2</sub>**: Oxygène

**O<sub>d</sub>** Oxygène dissous

**Pb** : Plomb

**PH** : Potentiel d'Hydrogène

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

**S.A.A** : Spectrométrie d'Absorption Atomique

**SO<sub>2</sub>** : Dioxyde de soufre

**SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>** : Sulfates

**TDS** : Total Des solides Dissous.

**Zn** : Zinc

# *Introduction*

**Introduction :**

L'exploitation minière est l'une des plus importantes sources de métaux lourds dans l'environnement. Les rejets miniers de traitement peuvent être définis comme étant les produits plus ou moins transformés issus de la phase de traitement et d'enrichissement du minerai (rejet de laverie) contenant d'éventuels additifs chimiques, minéraux ou organiques. Ces rejets (résidus) sont généralement transportés par voie hydraulique et stockés dans une retenue obtenue par installation d'une digue afin d'éviter le déversement d'effluents pollués dans l'environnement.

La pollution de l'eau causée par l'exploitation minière peut prendre des décennies même des siècles avant de se dépolluer après la fermeture de la mine.

Plusieurs investigations ont été réalisées sur l'impact des sites miniers sur l'environnement dans le monde entier, en France (**Collon, 2003**), au Canada (**Murray, 2014**), au Maroc (**El Hachimi et al, 2005**).

Le site minier de Boudoukha dont l'exploitation a commencé en 1910 avec l'installation d'une laverie très complète et trois sections de cribles à cinq compartiments est l'un des mines abandonnées sans réhabilitation et qui constitue assurément une source de contamination et de nuisance pour l'environnement, particulièrement pour les eaux de surfaces. Le site a été fermé depuis 1946. Les eaux issues de la galerie de la mine déversent directement dans l'oued de Boudoukha et qui alimente en partie le barrage de Boussiaba nouvellement construit et qui est destiné à l'alimentation en eau potable.

L'objectif de ce travail consiste à :

Déterminer l'impact de la mine abandonnée de Boudoukha sur la qualité des eaux superficielles de la région.

Pour cela nous avons choisi de subdiviser notre travail en deux parties : la première est une synthèse bibliographique composée de deux chapitres dont le premier aborde quelque généralité sur les eaux superficielles (définition, différents types et caractéristiques, la pollution d'eau, et les sources de pollutions d'eau). Le deuxième chapitre expose des généralités sur les sites miniers (définition, les différents statuts d'un site minier, les différentes phases de réalisation d'un projet minier, et exploitation minière et pollution des eaux). La deuxième partie continuée de trois chapitres dans le troisième nous présenterons le matériel et les méthodes utilisées pour la réalisation de ce travail, le quatrième chapitre sera consacré aux résultats obtenus qui seront exposés sous forme de tableaux et de figures. Enfin un cinquième chapitre qui sera consacré à une discussion de tous les résultats obtenus.

Le travail sera clôturé par une conclusion.

*Chapitre I :*  
*Généralités sur les eaux*  
*superficielles*

## 1. Définition des eaux superficielles

Une eau de surface précède qu'une eau, telle qu'issue d'un ruissellement. Reste à la surface du sol et peut être stockée en étangs ou autres ouvrages de retenue. Par définition les eaux de surface sont tirées des lacs, rivières, chutes d'eau et de la mer. Ces eaux superficielles jouent le plus grand rôle dans la formation de l'hydrosphère sur terre. L'eau de surface est de l'eau qui s'accumule sur le sol ou dans un cours d'eau, dans le lit d'une rivière, d'un lac, d'une zone humide, d'une mer ou d'un océan. Son degré de pollution est mesuré par la qualité de l'eau recueillie (Fortier, 2019).

## 2. Les différents types des eaux superficielles :

### 2.1. Les cours d'eau :

Ensemble des eaux courantes désignent en écologie limnique sous le terme général d'écosystème lotique (Ramade, 2002).

Les cours d'eau peuvent être considérés comme des collecteurs, alimentés par le ruissellement des eaux superficielles et la résurgence des eaux de nappes ( transit souterrain), provenant essentiellement des précipitations sous forme de pluie, neige.....ou de la fonte des glaciers.

Ils constituent des milieux hétérogènes abritant une grande diversité de communauté d'êtres vivants (Genin et al ,2003).

### 2.2. Les mares :

Les mares sont des petites étendues d'eau stagnante de faible profondeur, elles sont les hydrosystèmes les plus communs et les plus caractéristiques, elles ne constituent pas un groupe homogène et elles sont très diversifiées en fonction des régions biogéographiques et climatiques. Le régime hydrologique, les sols, la roche-mère et la physico-chimie des eaux jouent un grand rôle dans leur écologie. Dans des conditions écologiques extrêmes et instables, partagées sans cesse entre un environnement aquatique et terrestre, souvent isolée, la flore a développé dans ces milieux des adaptations remarquables pour survivre, elle a dû également s'adapter aux mêmes contraintes, de sorte que ces milieux hébergent un patrimoine génétique diversifié et de grande valeur ; les espèces rares y sont nombreuses et beaucoup y montrent des modes de vie originaux. Ainsi les amphibiens constituent un groupe très important dans les mares avec de nombreuses espèces rares ou localisées. Plusieurs groupes d'invertébrés comme les crustacés phyllopoètes ou des insectes sont caractéristiques des mares et particulièrement bien adaptés à l'alternance des phases sèches et inondées. Les mares considérées comme des milieux exclusivement doux sur substrat non calcaire et des milieux sur substrat faiblement saumâtre, souvent calcaire (Grillas et al, 2004).



### 2.3. Les estuaires :

Estuaire (estuary), est un système côtier plus ou moins ouvert, inondé de manière permanente ou périodiquement par des eaux marines, et où un fleuve déverse des eaux douces pouvant modifier de manière variable la salinité du système. Il existe généralement un gradient allant de la salinité typique de la mer à des eaux douces issues du fleuve.

Les estuaires peuvent être subdivisés en trois types dépendant de l'importance des apports fluviaux et du mélange avec la marée :

- ✓ les estuaires avec simplement une zone salée en raison de l'importance de l'eau douce issue du fleuve ;
- ✓ les estuaires aux eaux partiellement mélangées qui ne sont dominées ni par les apports du fleuve, ni par le mélange lié aux marées ;
- ✓ les estuaires dans lesquels les eaux sont bien brassées en raison de l'énergie de la marée qui empêche la stratification des eaux (**Triplet, 2017**).

### 2.4. Les lagunes : (lagon)

Une lagune est une étendue d'eau généralement peu profonde, qui longe la mer dont elle est séparée par une bande étroite de terre dite « Cordon littoral », et avec laquelle elle est en général en communication par des passes étroites ensablées en période d'étiage. Elle est en général alimentée en eau douce à partir d'un bassin versant qui lui est propre. Des échanges avec la mer rendent souvent son eau plus ou moins saumâtre suivant les saisons (par des « passes » ou « graus »). (**Boisgontier, 1993 ; Cabane, 2012**). Les fluctuations des niveaux d'eau y sont réelles mais non liées à la marée. Les entrées d'eau de mer sont irrégulières et l'évaporation peut jouer un rôle important dans les fluctuations de la salinité (**Triplet, 2017**). On peut y pratiquer l'aquaculture. Les lagunes sont fréquentes sur les rivages de mers sans forte marée et à riches apports sédimentaires (Méditerranée, Golfe de Guinée, est du Deccan ou de Madagascar, Mozambique, Australie du sud, Floride, Golfe du Mexique, Rio Grande do Sul) (**Cabane, 2012**). Les lagunes peuvent être trouvées à toutes latitudes et leur salinité varie de hyper saline à saumâtre en fonction du climat et de l'hydrologie locale. Les sédiments de surface sont généralement du sable ou de la vase qui résultent de l'érosion côtière ou d'apports par les marées. Sous les tropiques, la colonne d'eau est généralement isotherme (**Triplet, 2017**).

### 3. Les caractéristiques de l'eau :

Parmi les caractéristiques de l'eau nous avons :

#### 3.1. La turbidité :

La turbidité est un paramètre organoleptique et une expression des propriétés optiques d'une eau à absorber ou/et à diffuser la lumière elle est due à la présence des matières en suspension finement divisées : argiles, limons, .... Cependant, une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur les particules en suspension: la qualité bactériologique d'une eau turbide est donc suspecte. Il est recommandé d'effectuer la mesure de la turbidité aussi rapidement que possible après prélèvement ; sinon l'échantillon doit être conservé à l'obscurité pour une durée maximale de 24 h, toute conservation prolongée peut provoquer des modifications irréversibles de la turbidité (**Ghazali et Zaid, 2013**).

#### 3.2. L'oxygène dissous :

L'oxygène dissous mesure la concentration du dioxygène dissous dans l'eau (**Rodier, 1984**). Les concentrations en oxygène dissous constituent avec les valeurs de pH l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique. L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs; tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments (**Rodier et al, 2009**).

#### 3.3. Matières en suspension (MES) :

Les matières en suspension constituent l'ensemble des particules minérales et/ou organiques dans une eau naturelle ou polluée (**Ramade, 1998**). Dans les eaux superficielles non polluées, les matières en suspension ont surtout pour origine le bassin versant sous l'effet de l'érosion naturelle, les débris d'origine organique (débris végétaux...etc.) et le plancton. La nature des MES est donc souvent minérale et leur taux relativement bas sauf en périodes de crues des cours d'eau. Les eaux naturelles ne sont jamais exemptes de matière en suspension et on admet une teneur inférieure à 30 mg/l (**Afri-Mehannaoui, 1998**).

#### 3.4. Minéralisation globale / La salinité :

La minéralisation de l'eau est en fonction de la géologie des terrains traversés. D'une façon générale, elle est plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux superficielles. Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité (**Rodier, 2009**).

#### **4. Pollution d'eau :**

Une pollution peut se définir comme une dégradation ou une perturbation de milieu, qui résulte en générale de l'apport de matières ou de substances exogènes, ses effets peuvent être modificateurs ou destructeur vis-à-vis du fonctionnement du milieu, selon la nature ou la quantité de polluant (Genin et al ,2003).

#### **5. Les sources de pollutions des eaux :**

##### **5.1. Sources naturelles :**

La pollution physique, les pollutions biologiques et biochimiques. La pollution naturelle physique est celle qui résulte de l'entraînement en suspension d'éléments minéraux menus : sable fin, limons, argiles, lors de pluies violentes ou de crues abondantes. Les pollutions naturelles biologiques et biochimiques ont une origine commune; les manifestations de la vie végétale et animale. Tous les êtres vivants remettent des éléments organiques (feuilles mortes ou fruits, plumes ou poils, par exemple) ; certains excrètent des composés chimiques résultant des métabolismes vitaux. Ces résidus sont abandonnés sur le sol ou bien sont enfouis dans le sol ou bien encore sont entraînés par le ruissellement et ils finissent par gagner les cours d'eau superficiels ou les circulations aquifères souterraines, après avoir subi des modifications physiques, chimiques ou biologiques (Marcel, 1974).

##### **5.2. Sources anthropiques :**

###### **5.2.1. La pollution des eaux par les pesticides :**

L'agriculture moderne cherche à obtenir une production au moyen de variétés végétales à haut rendement. La fragilité génétique de ces variétés productives et les conditions dans lesquelles elles sont cultivées les rendent très vulnérables aux maladies et aux ravageurs. Pour protéger ses récoltes l'agriculteur utilise toute une gamme de produits phytosanitaires élaborés par l'industrie chimique. Bien que les pesticide favorisent la lutte contre les nuisibles, ils sont l'une des causes principales de la contamination des eaux. En effet, répandus sur les sols, les résidus de ces derniers vont venir ensuite ruisseler et s'infiltrer et venir contaminer les eaux des surface et souterraines.

###### **5.2.1.1. Pollution par les nitrates :**

La pollution des eaux par les nitrates peut avoir trois origines :

- agricole
- industrielle
- domestique et relève d'un processus déterminant, la minéralisation de l'azote organique c'est-à-dire son passage sous forme de nitrate soluble.

En fonction de différents facteurs (conditions climatiques, la couverture végétation ...), les nitrates représentent la plus grande proportion de la pollution azotée entraînés vers les nappes phréatiques.

#### **5.2.1.2. Pollution par les Phosphates :**

Les phosphates peuvent être d'origine naturelle (produit de décomposition de la matière vivante, lessivage de minéraux contenant du phosphore), mais à l'heure actuelle, leur présence dans les eaux est principalement associée à des apports anthropiques (engrais, déjections animales, stations d'épuration, polyphosphates des détergents, eaux traitées aux phosphates, industrie chimique...) (**Banas et Lata, 2006**). Les phosphates sont en grande partie responsables de l'eutrophisation des milieux humides, particulièrement les rivières à faible écoulement ou dans les lagunes. De même, depuis peu, les médecins s'interrogent sur la responsabilité des phosphates dans le développement de maladies neuro-dégénératives (**Lavie et al, 2008**).

#### **5.2.1.3. Pollution par les chlorures :**

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution.

Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations très variables. L'origine peut être naturelle ; percolation à travers des terrains salés, Infiltration des eaux marines dans les nappes phréatiques et profondes, Effet de l'activité humaine, Industries extractives et dérivées (soudières, salines, mines potasse, industries pétrolières...) (**Nouayti et al, 2015**).

#### **5.2.2. La pollution des eaux par les métaux lourds :**

La contamination métallique des milieux aquatiques est devenue une préoccupation mondiale à cause de sa toxicité, de sa bioaccumulation et de ses effets sur la vie aquatique. Les résidus métalliques risquent à la vie aquatique en s'accumulant dans les micro-organismes, la flore et la faune aquatique, à travers les usages de l'eau (alimentation, baignade...) et à la santé humaine (**Nadem et al, 2015**). Les métaux lourds caractérisent certains types de pollution, comme par exemple :

- la présence de cuivre et de nickel signe des rejets provenant d'industries de traitement de surface des métaux.
- le zinc est évacué par des industries qui pratiquent la galvanisation ou la préparation d'alliages tels que le laiton et le bronze, il est également libéré lors du contact entre les eaux de ruissellement avec les matériaux galvanisés (toitures métalliques, gouttières) ;

- le cadmium peut notamment être rejeté par des usines de galvanoplastie et des industries chimiques de textiles et de teintures.

Les métaux lourds se dissolvent très bien dans une eau acide (pH faible). Dans des eaux neutres ou basiques, ils précipitent et s'accumulent principalement dans la phase solide (boues). L'analyse de ces boues permet ainsi d'obtenir une vue de l'ensemble des déversements en métaux lourds qui ont eu lieu, tant en nature qu'en quantité. La toxicité du zinc, influencée par la dureté de l'eau, son contenu en oxygène et la température, concerne surtout les plantes et les algues. La toxicité du cuivre pour le milieu aquatique est fortement dépendante de l'alcalinité, du pH et de la présence de matières organiques. De manière générale, les salmonidés (saumons, truites) sont très sensibles au cuivre et au zinc (**De villers et al, 2005**).

### **5.2.3. La pollution des eaux par les hydrocarbures :**

La présence des hydrocarbures dans les aquifères constitue une grande menace pour l'eau et pour l'environnement. En effet, leur toxicité et leur faible solubilité dans l'eau en font des sources de pollution à très long terme. Les propriétés physico-chimiques du sol et des polluants ainsi que les caractéristiques de l'écoulement de l'eau déterminent la vitesse de transport des polluants dissous, les hydrocarbures causent la contamination de l'ensemble de la chaîne alimentaire (notamment par bioaccumulation d'hydrocarbures dans les organismes aquatiques) (**Radilla, 1997**).

Les organismes aquatiques sont très sensibles aux hydrocarbures (oiseaux, mammifères marins), entraîne de graves conséquences environnementales sur les écosystèmes surtout lors de leurs premiers stades de vie (**Couillard et al, 2005**).

*Chapitre II :*

*Les sites miniers*

## 1. Généralités sur les sites miniers :

### 1.1. Définition du site minier :

Tout terrain ayant fait, faisant ou pouvant faire l'objet d'une activité d'exploration ou d'exploitation minière (Vittet, 2011). Il est l'endroit où l'on extrait les minéraux ayant une valeur commerciale. Les matières résiduelles sont déposées dans les aires d'entreposage sous forme broyée (les rejets de concentrateur) ou simplement concassée (les stériles miniers). Chaque type de rejet est géré de façon spécifique, en fonction de ses propriétés, des caractéristiques de l'opération minière, et des particularités du site. Les dimensions des composantes d'une mine sont toujours différentes d'une exploitation à l'autre. Selon les composantes et les caractéristiques des matériaux traités, les effets sur l'environnement seront différents (Aubertin et al, 2002).

### 1.2. Les statuts d'un site minier :

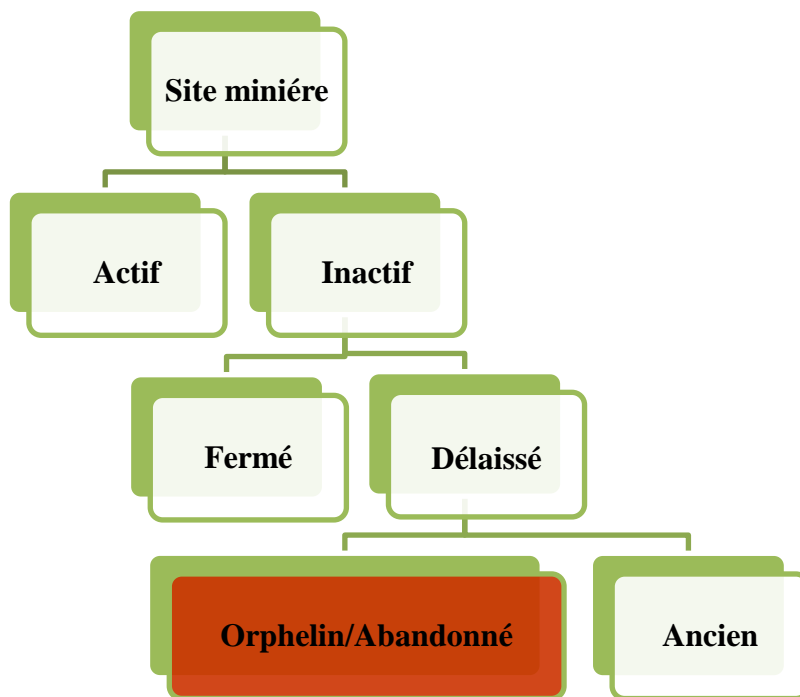


Fig. 1: les différents statuts d'un site minier (LTD C. D, 2005).

**1.2.1. Site minier actif :** Lieu où se déroulent présentement des activités minières.

**1.2.2. Site minier inactif:** Site où plus aucune activité minière n'est réalisée.

**1.2.3. 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.

**1.2.4. Site minier délaissé:** Un site inactif qui n'a pas été fermé et ayant aucun propriétaire connu.

**1.2.5. Site minier abandonné (Site minier orphelin) :** Un site minier est considéré abandonné si on ne peut identifier de propriétaire solvable (autre que le gouvernement) pour les installations de la mine, ou encore si les installations ont été rétrocédées à la Couronne (**Bussière et al, 2005**).

Les sites orphelins sont généralement d'anciennes mines qui ont appartenu à des entreprises minières qui ont disparu, qui n'existent plus ou qui ont tout simplement déménagé hors du pays. Conséquemment, les gouvernements sont ceux qui héritent de la responsabilité de la restaurer adéquatement. Ces sites sont retrouvés dans toutes les régions où il y a un historique d'activités minières. Historiquement, il était commun dans la pratique de quitter les sites sans se soucier de la restauration après avoir extrait tout le minéral ou le métal désiré. Ces sites étaient la source de graves problèmes environnementaux puisqu'ils étaient laissés sans végétation. Aujourd'hui, ces lieux sont une préoccupation tout à fait différente. En effet, ces sites manifestent une grande part des impacts décrits lors de l'extraction minière. Ces sites exposent un paysage et des écosystèmes détruits à très long terme. Il y a toujours le risque de contamination du milieu terrestre, aquatique et aérien en plus des espèces qui pourraient entrer en contact avec les substances toxiques se dégageant de ces lieux. Des problèmes sociaux peuvent amener, avec la présence de terres non utilisables, des problèmes de santé possibles. Il est également recommandé que le gouvernement des pays possédant un historique d'abandon de mines s'assure de répertorier tous les sites orphelins et d'établir un plan d'action pour les restaurer. Cette étape peut s'avérer être extrêmement dispendieuse, il est alors recommandé de seulement adresser les impacts environnementaux les plus dommageables en attendant d'avoir les ressources financières nécessaires pour procéder à la restauration complète (**Thomas, 2012**).

**2. Les phases d'un projet minier :** On distingue différentes phases dans un projet minier ;

### **2.1. Prospection :**

Cette phase correspond aux enquêtes, aux études de terrain, aux essais de sondage et aux d'autres excavations exploratoires (**Worldwide, 2010**).

### **2.2. Développement :**

Si la phase d'exploration prouve l'existence d'un dépôt de minerai assez important et d'une teneur suffisante, le promoteur de projet peut alors commencer de planifier le développement d'une mine. Cette phase du projet minier comprend plusieurs composantes distinctes telles que la construction de routes d'accès et Construction de routes d'accès (**Worldwide, 2010**).

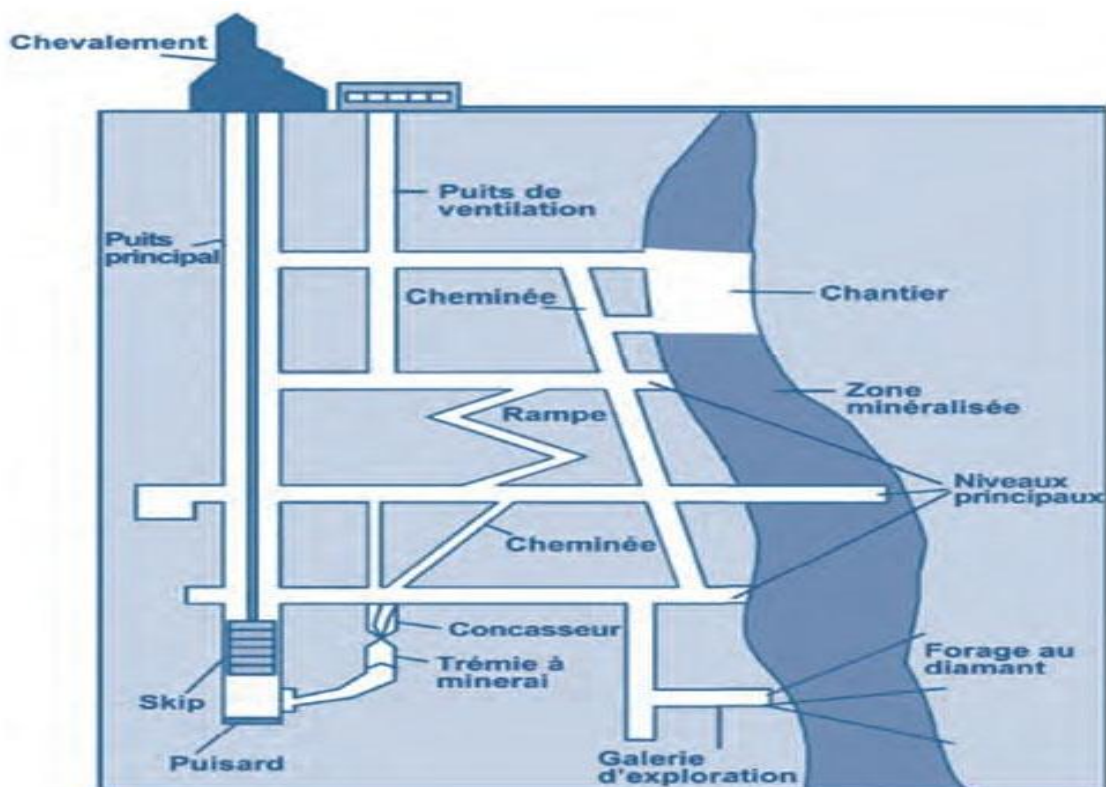


### 2.3. Exploitation :

L'exploitation d'une mine consiste à extraire des roches ou minerais ayant une valeur économique. Pour l'extraction des minerais, deux principales techniques utilisées sont : la mine souterraine et la mine à ciel ouvert.

Le choix du type de mine dépend de différents facteurs, tels que la profondeur du gisement, sa géométrie, son contexte géologique et géomorphologique, son empreinte au sol et les coûts d'extraction (Matheus, 2018).

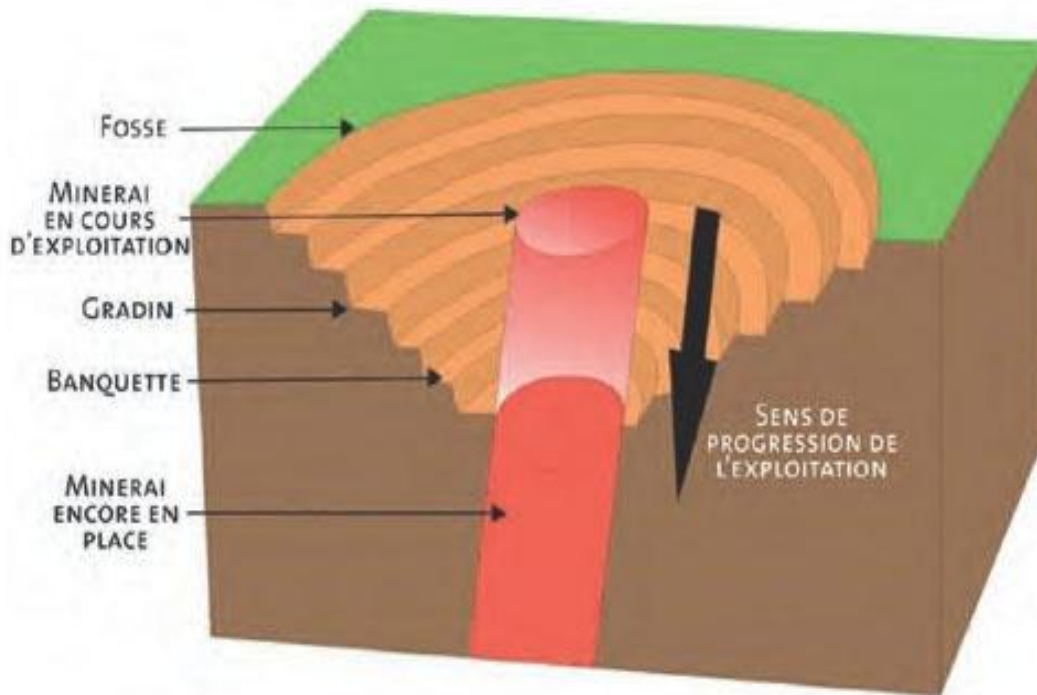
#### 2.3.1. La mine souterraine :



**Fig.2 :** Coupe transversale d'une mine souterraine(Matheus, 2018)

L'exploitation d'une mine souterraine consiste à extraire le minerai d'un gisement à partir de puits et de galeries créés sous la surface du sol (Fig.2), sans qu'il soit nécessaire d'enlever l'intégralité des matériaux stériles qui le surmontent. Dans les mines souterraines, on pratique une extraction plus sélective comparativement à celle opérée dans les mines à ciel ouvert, le rapport entre le volume de stériles et le volume de minerai extrait y est d'ailleurs beaucoup moins élevé (Matheus, 2018)

### 2.3.2. La mine à ciel ouvert (MCO) :



**Fig.3** : Schéma d'une exploitation à ciel ouvert en fosse (Matheus, 2018)

L'exploitation à ciel ouvert (MCO ou open pit) est la méthode privilégiée pour extraire le minerai de gisements situés près de la surface (typiquement entre 0 et 400 m de profondeur)(fig. 3); le coût par tonne de minerai extrait est généralement inférieur à celui du minerai extrait en recourant à des méthodes souterraines.

On distingue classiquement, selon la disposition des zones minéralisées :

\***Exploitations en découverte** : lorsque le gisement est stratiforme, peu profond et s'étend sur une grande surface horizontale.

\***Exploitations en fosse** : lorsque le gisement s'enfonce dans le sous-sol avec une extension latérale réduite.

### 2.4. Evacuation des morts terrains et des déchets de roche:

Pour la plupart des projets miniers, la quantité de morts terrains générée par l'exploitation minière est énorme. Le rapport entre la quantité de morts terrains à la quantité de minerais (taux de découverte) est généralement supérieur à un et peut être beaucoup plus élevé. Ces déchets volumineux, contenant parfois des niveaux significatifs de substances toxiques, sont généralement déposés sur place, soit en tas sur la surface ou comme remblai dans les carrières, ou dans les mines souterraines (Worldwide, 2010).

## **2.5. Extraction du minerai :**

Après qu'une compagnie minière a déplacé les morts terrains, l'extraction du minerai commence à l'aide d'équipements lourds et d'une machinerie spécialisés, tels que les chargeurs, les wagons de mine et les camions-benne, qui transportent le minerai vers les installations de traitement à travers des routes de transport des matériaux.

Cette activité crée un groupe particulier d'impacts environnementaux, tels que les émissions de poussière fugitive des routes de transport des matériaux (**Worldwide, 2010**).

## **2.6. Enrichissement :**

Bien que les minerais métalliques contiennent des niveaux élevés de métaux, ils produisent aussi de grandes quantités de déchets. Par conséquent, l'étape suivante dans l'exploitation minière est le concassage (ou broyage) du minerai et la séparation des quantités relativement faibles de métaux du matériau non métallique du minerai au cours d'un processus de traitement dénommé enrichissement (**Worldwide, 2010**).

## **2.7. Evacuation des résidus :**

Même les minerais métalliques à haute teneur sont composés presque entièrement de matériaux non métalliques et contiennent souvent des métaux toxiques indésirables (comme le cadmium, le plomb et l'arsenic). Ainsi, le processus d'enrichissement génère de gros volumes de déchets appelé résidus (**Worldwide, 2010**).

## **3. Les mines abandonnées et pollution des eaux superficielles :**

L'eau est essentielle à la vie sur notre planète. Un préalable de développement durable doit s'assurer que les cours d'eaux ne soient pas contaminés. L'exploitation minière affecte les bassins d'eau douce par l'utilisation d'eau par le traitement du minerai et par la pollution faite lors des décharges d'effluent des mines. La pollution de l'eau causée par l'exploitation minière peut prendre des décennies même des siècles avant de se dépolluer après la fermeture de la mine.

### **3.1. Déchets provenant de l'extraction minière :**

Durant l'opération d'une mine, on retrouve différentes sources de contaminants pouvant affecter l'environnement à savoir:

- ✓ Les rejets solides produits directement du processus d'extraction des minéraux économiques ou du métal précieux peuvent être également une source de contamination importante pour l'eau.

Les rejets liquides sont une autre source de préoccupation lorsque l'on aborde la problématique environnementale liée à la phase de l'opération de la mine (**Aubertin et al ,2002**).

Divers types de déchets de toutes sortes (vieux équipements électriques et mécaniques, lubrifiants, produits chimiques, etc.) (**Aubertin et al ,2002**).

L'exploitation minière porte généralement préjudice à l'environnement, elle induit inévitablement la dégradation de l'écosphère. Les mines abandonnées sans réhabilitation constituent nécessairement pour leur part des sources de contamination et de nuisance pour l'environnement. Les opérations d'extraction et de broyage minier, la concentration de minerais et l'évacuation de rejets miniers, constituent des sources évidentes de contamination de l'environnement, L'exploitation minière est l'une des plus importantes sources de métaux lourds dans l'environnement. Des niveaux élevés de métaux lourds peuvent être rencontrés aux alentours et dans les mines métallifères, dus à la décharge et à la dispersion des résidus miniers dans les sols agricoles proches, les récoltes et les cours d'eau. C'est ce qui pose éventuellement un risque potentiel pour les habitants des régions minières, Les rejets miniers de traitement peuvent être définis comme étant les produits plus ou moins transformés issus de la phase de traitement et d'enrichissement du minerai (rejet de laverie) contenant d'éventuels additifs chimiques, minéraux ou organiques .Ces rejets (résidus) sont généralement transportés par voie hydraulique et stockés dans une retenue obtenue par installation d'une digue afin d'éviter le déversement d'effluents pollués dans l'environnement. Les résidus restés à l'air libre, peuvent selon les cours de métaux devenir à intérêt économiquement rentable, par contre, ils sont d'un impact paysager et environnemental généralement très négatifs.

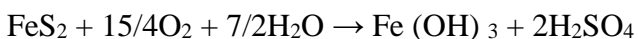
En plus de l'impact négatif des rejets miniers de traitement sur l'esthétique du milieu naturel, ces résidus présentent généralement une capacité polluante chimique élevée. Issus des opérations de traitement du minerai, ces résidus sont souvent très riches en minerais métalliques résiduels, en sulfures de fer et en phases minérales comprenant des éléments traces métalliques (ETM) toxiques. Sous l'action des agents météoriques, ces composés vont répondre de façons très diverses aux nouvelles conditions géochimiques (oxydation, réduction, etc.) de surface et vont alors être déstabilisés et s'altérer et les produits d'altération vont directement être dispersés dans l'environnement par lessivage et transport hydrique et/ou éolien. L'oxydation naturelle des minéraux sulfurés des rejets exposés à l'air et à l'eau peut entraîner la production d'effluents suffisamment acidifiés et chargés d'ions métalliques pour poser de sérieux problèmes dans un milieu aquatique récepteur (**El Hachimi et al, 2013**).

### 3.2. Différents types de la pollution des eaux superficielles causée par l'extraction minière :

#### 3.2.1. Le drainage d'acide minier et la lixiviation des contaminants :

Le drainage minier d'acide (DMA) étant le résultat de la circulation des eaux à travers les composantes d'un site minier (ex. : rejets du concentrateur, haldes de roches stériles, galerie de mine). Il résulte de l'oxydation naturelle (chimique, électrochimique ou biologique) de minéraux sulfureux tels la pyrite et la pyrrhotite, la sphalérite, la covellite, l'arsénopyrite et la galène que l'on retrouve dans les matériaux rocheux exposés à l'air, à l'eau et à l'activité bactérienne.

Les eaux de drainage acides sont caractérisées par un faible pH, des concentrations en métaux lourds et en sulfates solubles élevées ainsi qu'une grande concentration en solides dissous. Les eaux contaminées par le DMA, aussi appelé drainage rocheux acide (DRA), peuvent provenir de divers types d'exploitation (or, argent, cuivre, nickel, zinc, plomb et de charbon ou d'uranium). Le minéral sulfureux le plus abondant dans les rejets miniers est la pyrite (FeS<sub>2</sub>). La réaction globale simplifiée de l'oxydation de la pyrite, qui produit de l'acide sulfurique et du fer plus ou moins soluble selon les conditions du pH, du Eh et de la teneur en fer, peut s'écrire de la façon suivante :



Cette acidité combinée à la présence de contaminants potentiellement toxiques (p.ex. Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Cd, Pb, Co, Ni, As, etc.) qui peuvent affecter sérieusement les écosystèmes voisins. D'autres réactions telles les réactions de neutralisation influencent la quantité et la qualité du DMA. Ainsi, certains minéraux (carbonates, hydroxydes, silicates, phosphates) possèdent la capacité de neutraliser l'acide sulfurique. La capacité qu'aura un minéral à neutraliser l'acide produit lors de l'oxydation de la pyrite peut être influencée par la nature des minéraux secondaires formés. En outre, l'accumulation des minéraux secondaires peut conduire à la formation d'un horizon induré qui forme localement une interface moins perméable entre la zone de résidus oxydés et les résidus frais (Aubertin et al, 2002).

#### 3.2.2. L'érosion des sols et des déchets miniers dans les eaux de surface :

Pour la plupart des projets miniers, le potentiel d'érosion de sol et de sédiments par l'eau de surface et la dégradation de la qualité de celle-ci est un grave problème.

En raison de la grande superficie de terre endommagée par l'exploitation minière et des grandes quantités de matériaux qui sont exposées sur les sites, l'érosion peut être une préoccupation majeure sur les sites miniers.

Par conséquent, la lutte contre l'érosion doit être considérée depuis le début des opérations jusqu'à l'achèvement des travaux de réhabilitation.

L'érosion peut provoquer le chargement important de sédiments vers des plans d'eau proches, surtout pendant des tempêtes sévères et de grandes périodes de fonte de neige.

L'eau de ruissellement chargée de sédiments est au départ un mince filet qui grandit progressivement jusqu'à se transformer en ravines naturelles ou en exutoires artificiels. En fin de course le dépôt des sédiments peut se produire dans les eaux de surface, ou dans les plaines d'inondation d'une vallée de cours d'eau. Historiquement, les processus d'érosion et de sédimentation ont causé l'accumulation de couches épaisses de minéraux fins et de sédiments dans les plaines d'inondation régionales ainsi que l'altération des habitats aquatiques et la perte de capacité de stockage des plans d'eau. Les principaux facteurs influençant l'érosion comprennent le volume et la vitesse du ruissellement provenant des précipitations, le taux d'infiltration des précipitations dans le sol, la densité de la couverture végétale, la longueur de la pente ou la distance à partir du point d'origine du ruissellement en nappe au point où la sédimentation commence, ainsi que les structures de contrôle d'érosion opérationnelles. (**Worldwide, 2010**).

### **3.2.3. Impacts des bassins de décantation des résidus, de déchets de roche, de la lixiviation en tas et des installations de stockage de lixiviats :**

Les impacts des bassins de décantation des résidus de mine, des déchets de roche, de la lixiviation en tas et des installations de stockage de lixiviats sur la qualité de l'eau peuvent être graves. Ces effets comprennent la contamination des eaux souterraines en dessous de ces installations et des eaux de surface. Les substances toxiques peuvent alors lessiver de ces installations, filtrer à travers le sol et contaminer les eaux souterraines, surtout si la base de ces installations n'est pas équipée d'un revêtement imperméable.

Les terrils (un sous-produit du traitement de minerai métallique) représentent de gros volumes de déchets qui peuvent contenir des quantités de substances toxiques dangereuses, telles que l'arsenic, le plomb, le cadmium, le chrome.

La plupart des compagnies minières se débarrassent des terrils en les mélangeant avec de l'eau donc, les déchets qui en résultent contiennent de grandes quantités d'eau et généralement forment des étangs tout au sommet des bassins de résidus et donc peuvent constituer une menace pour la faune.

Pendant les périodes de fortes pluies, les étangs de résidus peuvent recevoir beaucoup plus d'eau qu'ils ne sont capables de contenir, nécessitant la libération des effluents du lac de résidus. Puisque ces effluents peuvent contenir des substances toxiques, leur libération peut dégrader sérieusement la qualité de l'eau des rivières et des cours d'eau environnants, surtout si l'effluent n'est pas traité avant le déversement.

Des douzaines de ruptures de barrage des bassins de décantation de résidus de mine sont à l'origine des pires conséquences environnementales de tous les accidents industriels. Lorsque les bassins de décantation de résidus de mine cèdent, ils déversent de grandes quantités d'eaux toxiques qui peuvent détruire la vie aquatique et empoisonner l'alimentation en eau potable sur de nombreux kilomètres en aval du bassin de décantation (**Worldwide, 2010**).

### **3.3. Impacte des sites miniers sur l'environnement :**

#### **3.3.1. 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 lourds 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**).

#### **3.3.2. Impacte des sites miniers sur la qualité d'air :**

Sur un site minier, les machines et les camions de transport produisent des quantités de gaz à effet de serre (GES) considérables. Ils rejettent aussi des composés organiques volatils (COV) du monoxyde de carbone (CO), du monoxyde d'azote (NO), de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) qui contribue à l'augmentation de la pollution atmosphérique (**Murray, 2014**).

### **3.4. Impacte des sites miniers sur la santé humaine:**

Les risques sanitaires associés à l'extraction minière sont classés comme risques chimiques, biologiques, biomécaniques, physiques et psychosociaux. . Les risques particulièrement importants pour les populations vulnérables, comme les enfants, les femmes en âge de procréer et les femmes enceintes, sont également traités (**OMS, 2017**).

#### **Risques chimiques :**

Les mineurs sont susceptibles d'inhaler, d'absorber et d'ingérer des produits chimiques pendant le processus d'exploitation minière. Les expositions aux produits chimiques les plus courantes en l'extraction minière sont les suivantes : au mercure utilisé pour amalgamer l'or ; au

cyanure utilisé pour extraire l'or, par exemple des résidus ; à d'autres produits chimiques contenus dans la poussière et les gaz (OMS, 2017).

**Risques biologiques :**

Même si les communautés de l'extraction minière sont susceptibles d'être touchées par de nombreuses infections, les risques biologiques les plus courants pour elles sont les maladies à transmission vectorielle et hydrique, les infections sexuellement transmissibles, le VIH/SIDA et la tuberculose (OMS, 2017).

**Risques biomécaniques et physiques :**

Les risques biomécaniques comme les lourdes charges de travail, les tâches répétitives, les longues heures de travail et un équipement non sécurisé peuvent être à l'origine de troubles musculo-squelettiques, dont les plus courants sont les affections de l'épaule, la fatigue et les douleurs lombaires. Les risques physiques peuvent être très divers et comprendre les vibrations, les niveaux de bruit élevés, la chaleur et l'humidité ainsi que les rayonnements (OMS, 2017)



*Chapitre III:*  
*Matériel et Méthodes*

## I. Cadre de la zone d'étude :

### I.1 Présentation géographique de la Kabylie de Collo :

Le massif de Collo, parfois appelé Kabylie de Collo, est un massif montagneux forestier d'Algérie situé dans le nord-est du pays et constituant une partie de l'Atlas tellien.

La Kabylie de Collo ou Numidie Orientale (Dahmani, 2015). Située à l'ouest d'Annaba et au Nord du Constantinois, est la région la plus arrosée d'Algérie et du Maghreb, avec plus de 1 200 mm par an. La moyenne annuelle des pluies tombées sur le djebel Gouffi, à l'ouest de Collo atteint 1 800 mm (Camps, 2015). Le climat est de type méditerranéen humide (André, 2007).

Le massif de Collo, segment de l'Atlas tellien, est fortement boisé, situé entre la vallée de Skikda à l'est et celle de Rhummel el-Kebir à l'ouest et s'avance fortement vers la mer Méditerranée : le cap Bougaroun, est le point le plus septentrional d'Algérie (Coté, 1996).

Il est constitué de petites montagnes d'altitude modeste culminant entre 900 et 980 m et dominé par des forêts de chêne-liège, ainsi que les replantations des pins maritimes (André, 2007) qui assurent 30 % de la production nationale du liège. Plusieurs oueds de la région y prennent leur source : Rhummel, Oued-el-Kebir et Saf-Saf (Dahmani, 2015), les forêts sont bordées de plaines fertiles (Coté, 1996).

### I.2. Présentation de la région de Boudoukha :

#### I.2.1. Situation géographique

La mine abandonnée de Boudoukha trouvée à la sortie du village de Boudoukha, elle est située à 5 km 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 des Béni-Tifout qui se localise à plus d'une cinquantaine de kilomètres à l'Est de Jijel (Fig. 4).

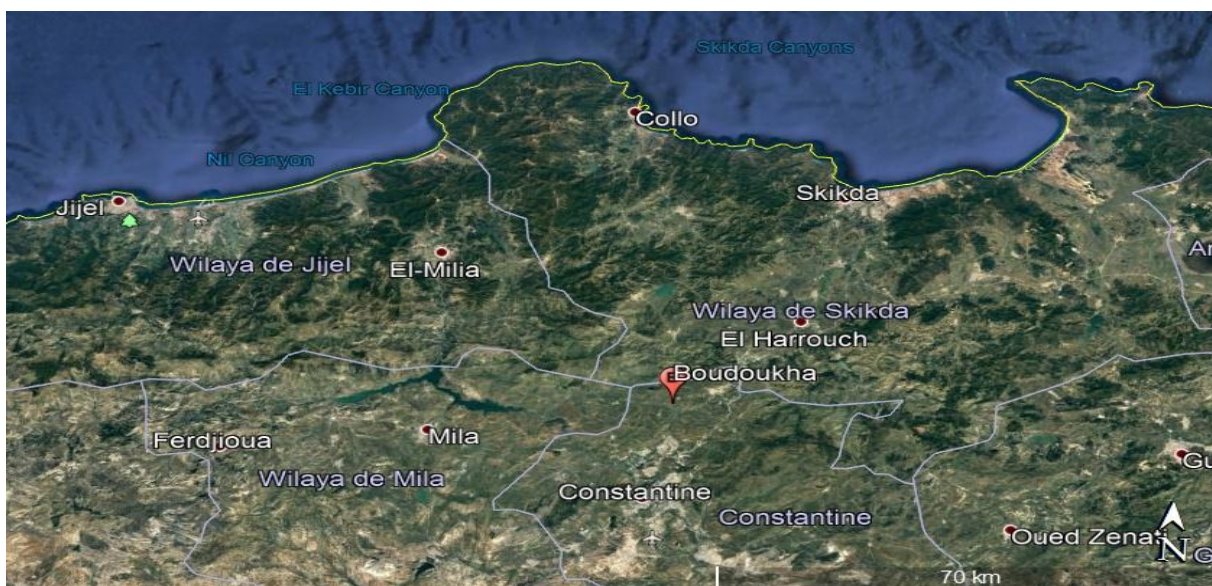


Fig. 4 : Photo satellite de la région de Boudoukha (Google Earth, 2019).

### **I.2.2. Climat :**

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

### **I.2.3. 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**).

### **I.2.4. Hydrologique :**

Au Nord du gisement s'étend le massif montagneux de Béni Tiffout, au Sud c'est le massif Denaira qui fait un chaînon de crêtes numidiques. Entre ces deux massifs coule l'Oued Er Ressel, qui est un affluent de l'Oued Boussiaba qui se jette lui même dans l'Oued El kébir à 2Km au NW d'El Milia.

La partie principale du gisement est située sur la colline KoudiatHarcha (267,7 m) perchée entre deux affluents de l'Oued Er Ressel ; l'Oued Chabet Hamada, qui est la route en partie. Sud du gisement et l'Oued Boudoukha au Nord des galeries principales (**Bourahla, 2011**).

### **I.2.5. Historique et situation actuelle du secteur minier en Algérie:**

Avant l'indépendance (1962), l'activité minière en Algérie était orientée principalement vers l'exploitation des gisements de fer et de plomb - zinc.

Entre les deux guerres mondiales, l'Algérie était un producteur important de minerai de fer dans le monde ; sa production a contribué à la prospérité des industries de transformation de plusieurs pays européens, en particulier la France, la Grande-Bretagne et l'Allemagne.

Durant les années 50, notamment pendant la guerre de libération nationale, les sociétés minières étrangères ont accéléré le processus d'écrémage des gisements et limité, voire stoppé tout investissement dans ce secteur.

Au lendemain de l'indépendance, les exploitants étrangers ont abandonné plusieurs mines après en avoir tiré le meilleur profit ; ne sont restées en activité que les mines encore " viables ", telles celles de phosphate, de zinc, de fer, de baryte, de charbon et les salins.

La nationalisation des mines, intervenue le 6 Mai 1966, a été suivie, le 11 Mai 1967, par la création de la Société Nationale de Recherche et d'Exploitation Minières (**SONAREM**).

### **I.2.6. Historique de site minier abandonné de Boudoukha :**

La mine de Boudoukha comporte deux filons principaux et quelques filons secondaires dont la minéralisation est constituée par la blende, galène, un peu de la pyrite et de chalcopyrite. Ils sont

caractérisés par leur régularité et leur étendue. Ces filons ont été découverts en 1900 ; suite au tracé de la route EL-Milia-Tamalous.

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

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

## II. Echantillonnage et technique de prélèvement :

### II .1.Les stations de prélèvement et leur situation géographique :

Cinq stations de prélèvement dans la région de Boudoukhasont choisis pour évaluer l'impact de l'ancienne mine sur la qualité physico- chimique (nitrate, nitrite, orthophosphates, ammonium, chlorure, sulfate) et le degré de la contamination métallique (Cd, Cu, Zn) des eaux superficielles. Le prélèvement a été réalisée le 18/05/2019.

Les stations de prélèvement sont repartis de la galerie de la mine (sortie de la mine), jusqu'au barrage de Boussiaba le long des oueds.

**Tableau 01** : Localisation des stations de prélèvement.

Stations	Situation	Distance (km) par rapport à l'effluent minier
<b>S1</b>	Galerie (Oued Boudoukha)	L'effluent minier
<b>S2</b>	Oued sous pont	400 m par apport la galerie
<b>S3</b>	Après la seconde confluence (Oued)	4 km par apport la galerie
<b>S4</b>	Barrage de Boussiaba, côté sud	6 km par apport la galerie
<b>S5</b>	Barrage de Boussiaba, côté nord	7 km par apport la galerie

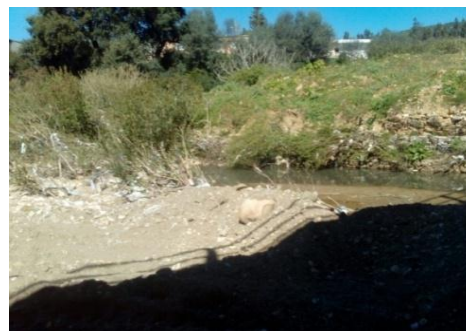


**Fig. 5:** Situation géographique des stations de prélèvement

**S1:** Station 1, **S2:** Station 2, **S3:** Station 3, **S4:** Station 4 (Google Map, 2019).



**Station 1**



**Station 2**



**Station 3**



**Station 4**

**Fig. 6 :** Photos des stations de prélèvements

## **II .2.Prélèvement des échantillons :**

L'échantillon destiné à l'analyse est prélevé de façon à être le plus exactement possible représentatif du milieu d'où il provient (**Rodier et Coll, 2005**).

Pour une analyse d'eau, une bouteille d'eau en plastique de 500ml pourra être utilisée. Celle-ci doit être idéalement neuve et vidée de son contenu initial, rincé 3 fois avec l'eau à analyser puis remplis la bouteille à ras bord afin d'éviter la présence d'air, fermé la bouteille hermétiquement avec le bouchon (**Brais, 2009**).

Pour notre étude, l'eau à analyser est prélevée dans des bouteilles en plastique de 500ml sont rincées avec de l'eau à analyser puis remplis jusqu'au bord, fermé et étiqueté.

Pour chaque station on prélève trois échantillons.

## **II .3.Transport et conservation des échantillons :**

Tous les échantillons doivent être conservés dans un environnement de 4 C° entre le moment de prélèvement et la réception au laboratoire (utilisé des glacières et des agents réfrigèrent).Les glacières utilisées doivent être propre (**centre d'expertises en analyse environnementale du Québec, 2004**).

## **III. Analyse des paramètres physico-chimique de l'eau :**

### **III. 1.Mesures sur terrain :**

Le pH, la température, l'oxygène dissous, la TDS, la salinité et la conductivité électrique en été mesure *in situ* car les valeurs peuvent évoluer très rapidement dans les échantillons prélevés, en utilisant un multi-paramètre de terrain de type HANNA HI 8733.

### **III.2. Analyse au laboratoire :**

#### **III.2.1.Dosage des nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (méthode par spectromètre d'absorption moléculaire selon Rodier 1996) :**

##### **Principe :**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de Sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrophotométrique.

#### **III.2.3.Dosage des nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) (méthode au réactif de Zambelli selon Rodier 1996) :**

##### **Principe :**

Dans un milieu chlorhydrique, l'acide sulfanilique en présence d'ion ammonium et de phénol, forme avec les ions NO<sub>2</sub><sup>-</sup> un complexe coloré en jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrites.

### **III.2.4. Dosage des orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) (méthode par spectrophotométrie d'absorption moléculaire selon Rejsek 2002 et celle de Rodier 1996) :**

#### **Principe :**

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les ions orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique, qui, après réduction par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique. Le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium.

### **III.2.5. Dosage des ammoniums ( $\text{NH}_4^+$ ) (méthode au bleu d'indophénol selon Rodier 2009) :**

#### **Principe :**

En milieu alcalin et en présence de nitroprussiate qui agit comme un catalyseur, les ions ammonium traités par une solution de chlore pour les transformer en monochloramine ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ) et de phénol donnent du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage par spectrométrie d'absorption moléculaire.

### **III.2.6. Dosage des chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) (méthode de Mohr selon Rodier 2009) :**

#### **Principe :**

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

### **III.2.7. Dosage des sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) (méthode néphélométrique selon Rodier 2009) :**

#### **Principe :**

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de Tween 20 ou de polyvinyl-pyrrolidone. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectromètre.

### **III.2.8. Demande biochimique en oxygène (DBO) (Méthodes manométriques selon Rodier 2009) :**

#### **Principe :**

La diminution de l'oxygène consommé lors de la biodégradation d'un échantillon provoque une diminution de pression mesurée à l'aide d'un manomètre.

L'échantillon d'eau introduit dans une enceinte thermo statée est mis à incuber en présence d'air. Les micro-organismes présents consomment l'oxygène dissous qui est remplacé en permanence par de l'oxygène en provenance du volume d'air situé au-dessus de l'échantillon. L'anhydride carbonique formé est piégé par de l'hydroxyde de potassium.

### **III.2.9. Analyse des métaux lourds : (Rodier 2009)**

On prélève 100 ml de l'échantillon à analyser puis on ajoute 0.5 ml de acide nitrique.

La technique de dosage des polluants métalliques (zinc, cadmium, plomb et cuivre) utilisée est la spectrométrie d'absorption atomique (S.A.A) de marque SHIMADZU AA6200 Atomic Absorption Flame Emission Spectrophotomètre.

### **IV. Analyse statistique**

Pour le calcul des statistiques élémentaires et pour une meilleure illustration des résultats nous avons procédé au calcul des moyennes, d'écart types ainsi qu'une matrice de corrélation.

L'analyse statistique proprement dite est effectuée en faisant appel à l'analyse de la variance (ANOVA) à un critère de classification pour comparer entre les moyennes de différentes stations. Pour une meilleure illustration les résultats obtenus sont représentés sous formes de graphiques. Tous les calculs ont été effectués en utilisant les logiciels : Excel, IBM SPSS.



*Chapitre IV :*

*Résultats*

## Résultats

Les résultats des analyses des paramètres physicochimiques des eaux superficielles de la région de Boudoukha des cinq stations étudiées sont représentés par le tableau 02 et graphiquement par les figures (7 à 22).

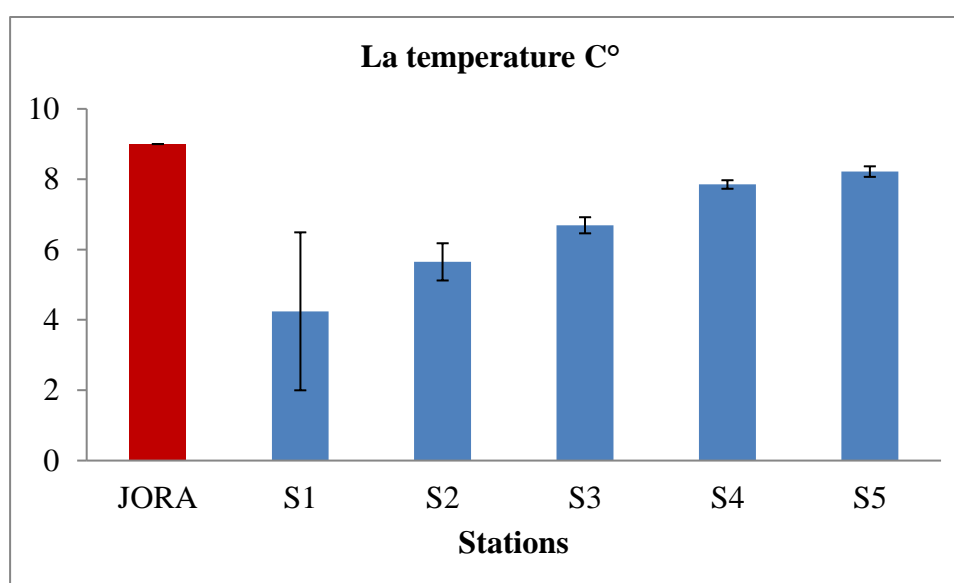
**Tableau 02 :** valeurs moyennes et écart type des paramètres physico-chimiques mesurés *in situ*.

Paramètre Station	T°(C°)	pH	O <sub>2</sub> dissous (g/l)	CE (ms/cm)	Sal (g/l)	TDS (g/l)
<b>S1</b>	21,36 ±0,814	4,24 ±2,245	7,77 ±6,506	27,13 ±2,950	16,23 ±1,604	15,63 ±1,45
<b>S2</b>	20,16 ±0,288	5,88 ±0,529	5,19 ±0,776	8,23 ±0,404	4,5	4,63 ±0,057
<b>S3</b>	21,16 ±0,230	6,69 ±0,229	7,01 ±0,889	7,86 ±0,057	4	4,16 ±0,057
<b>S4</b>	26,16 ±0,513	7,85 ±0,121	5,95 ±0,933	4,01 ±0,02	1,93 ±0,057	2,13 ±0,005
<b>S5</b>	22,6 ±0,173	8,21 ±0,149	7,22 ±0,08	3,33 ±0,034	1,6 ±2,719	1,77 ±0,020

### 1. Les paramètres physiques :

#### 1. 1. La température :

La température des eaux superficielles de la région de Boudoukha est variée dans les cinq stations étudiées, nous avons enregistré une valeur minimale 20,16 C° au niveau de la station 02 et une valeur maximale 26,16 C° au niveau de la station 04, les températures de l'eau des stations 01, 03 et 05 sont très proches 21 ;36 ;21 ;16 et 22,6 en successive.



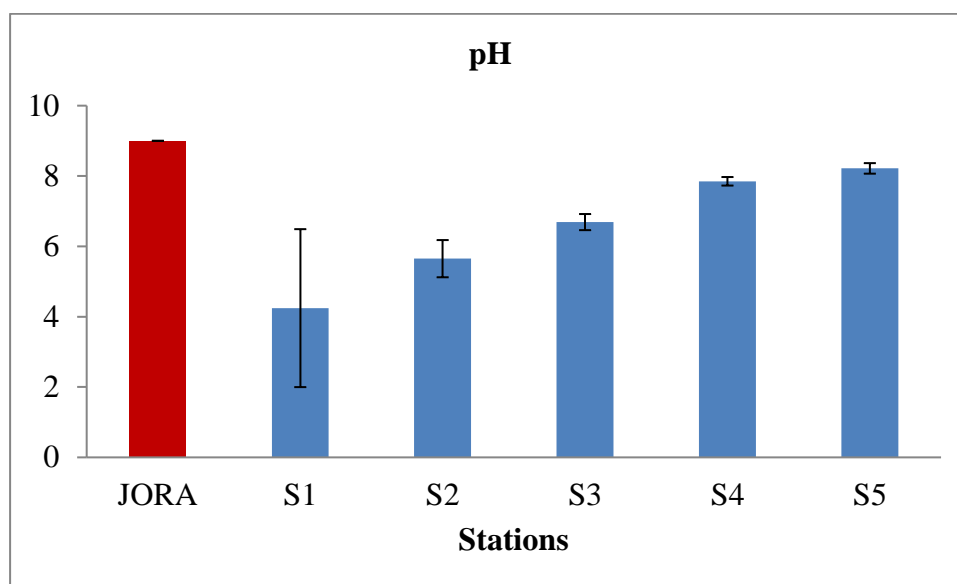
**Fig7.** Variations de la température dans les eaux superficielles des 05 stations étudiées.

Une corrélation fortement positive entre la T° et la DBO ( $r= 0,92$ ) pourrait s'expliquer par une forte activité bactérienne (**Bebgherbia et al ,2014**).

Des différences très hautement significatives dans la T° des eaux des cinq stations ont été enregistrées (ANOVA,  $F=74,591$  ;  $P < 0,001$ ).

### 1.2. Potentiel hydrogène (pH) :

La mesure sur terrain de pH montre que les valeurs du pH des eaux des cinq stations oscillent entre 4,24 enregistré au niveau la station 01 et 8,21 au niveau la station 05 (fig.8). Cependant une augmentation graduelle est constatée de la galerie et jusqu'au barrage au niveau de la station 5.



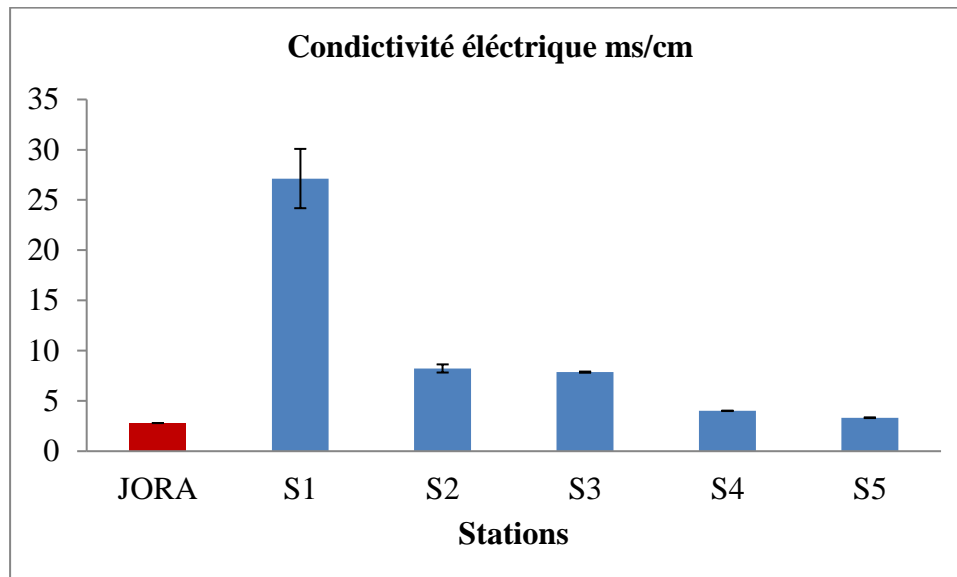
**Fig. 8 :** variation du pH dans les eaux superficielles des 05 stations étudiées.

Une forte corrélation négative de pH avec TDS ( $r=-0,89$ ), CE( $r=-0,89$ ), salinité( $r=-0,89$ ),  $\text{NH}_4^+$ ( $r= -0,87$ ),  $\text{NO}_3^-$  ( $r= -0,87$ ),  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $r= -0,88$ ),  $\text{PO}_4^{3-}$ ( $r= -0,96$ ),  $\text{Cl}^-$ ( $r= -0,92$ ), Cd ( $r= -0,7$ ) Cu ( $r= -0,8$ ).

Des différences significatives dans le pH des eaux des cinq stations ont été enregistrés (ANOVA,  $F=7,35$ ;  $P < 0,05$ ).

### 1.3. Conductivité électrique :

Les valeurs moyennes de la conductivité électrique des cinq stations de la région de Boudoukha varient entre une valeur maximale de 27,13 ms/cm enregistrée au niveau de la station 01 et une valeur minimale de 3.33 ms/cm enregistrée au niveau de du côté nord du barrage. En effet une diminution graduelle a été enregistrée de la galerie et jusqu'à la station 5 au niveau des eaux du barrage.



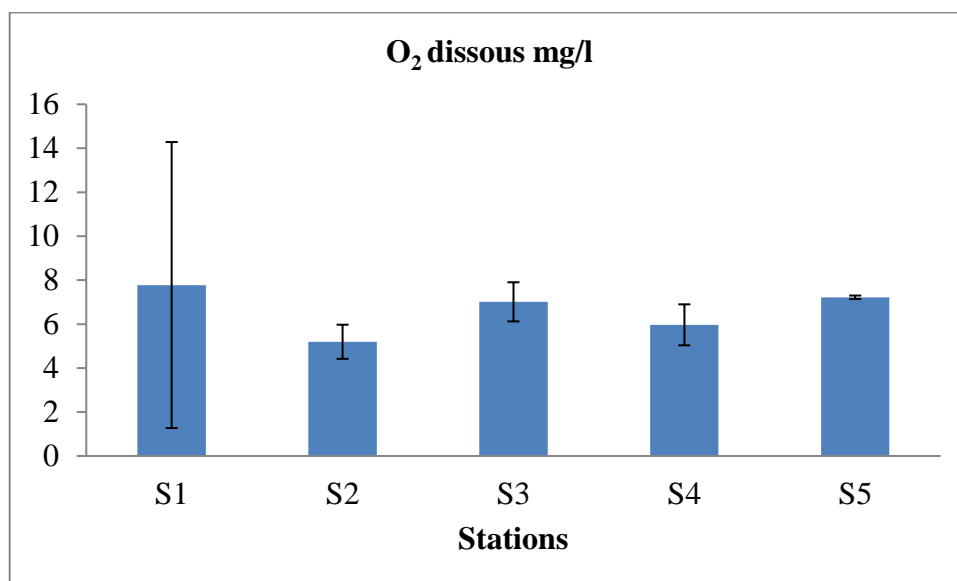
**Fig.9 :** Variation de la CE dans les eaux superficielles des 05 stations étudiées.

Une corrélation fortement positive entre la CE et la sal ( $r= 0,99$ ),  $\text{NH}_4^+$  ( $r= 0,97$ ),  $\text{NO}_3^-$  ( $r= 0,99$ )  $\text{PO}_4^-$  ( $r= 0,97$ ),  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $r= 0,99$ ),  $\text{Cl}^-$  ( $r= 0,92$ ), Cd ( $r= 0,94$ ), Cu ( $r= 0,98$ ).

Des différences très hautement significatives dans les valeurs de la CE des eaux ont été enregistrées (ANOVA,  $F=161,228$ ;  $P < 0,001$ ).

#### 1.4. Oxygène dissous :

Les valeurs moyennes de l'oxygène dissous sont variées entre 7,77 mg/l enregistrée au niveau de la station 01 et 5,19 mg/l enregistrée au niveau de la station 02. Globalement les eaux des différentes stations sont bien oxygénées (fig.10).



**Fig.10 :** Variation des concentrations d'oxygène dissous dans les eaux superficielles des 05 stations étudiées.

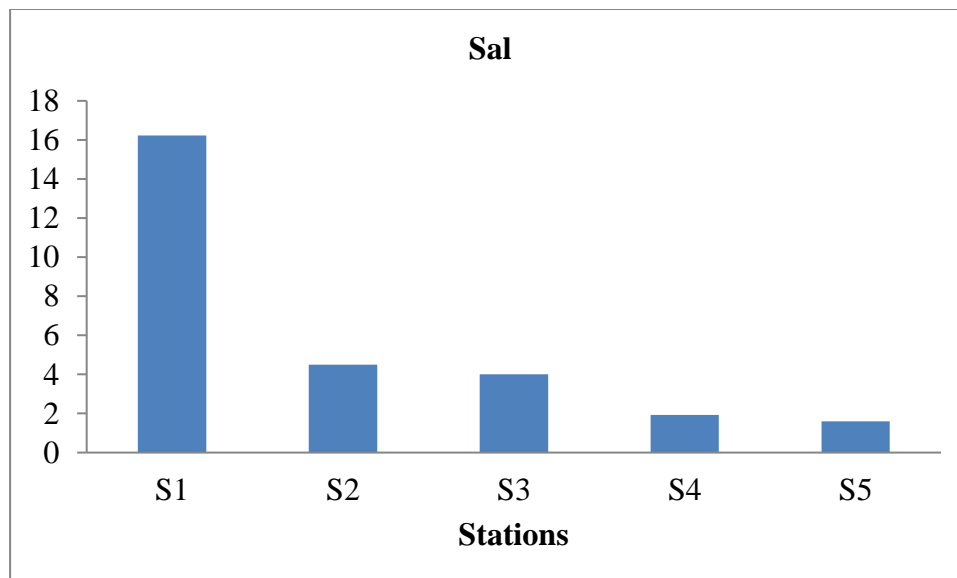
Une corrélation négative entre l'O<sub>2</sub> dissous et NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (r= -0,76), et une corrélation positive avec Cd (r= -0,74).

Il n'y a pas de différences significatives dans la teneur des eaux en O<sub>2</sub> dissous entre les stations (ANOVA, F=0,36; P >0,05).

### 1.5. Salinité :

Dans notre étude la valeur la plus élevée de la salinité est marquée au niveau de la station 01 avec 16,93g/l (fig.11) et la valeur la plus faible est constatée au niveau de la station 05 avec 1,6g/l, une diminution graduelle a été enregistrée dans la salinité des eaux de la galerie vers les eaux de barrage.

Un effet station dans la salinité des eaux a été enregistré (ANOVA, F=212,874; P < 0,001).



**Fig.11 :** Variations de la salinité des eaux superficielles des 05 stations étudiées.

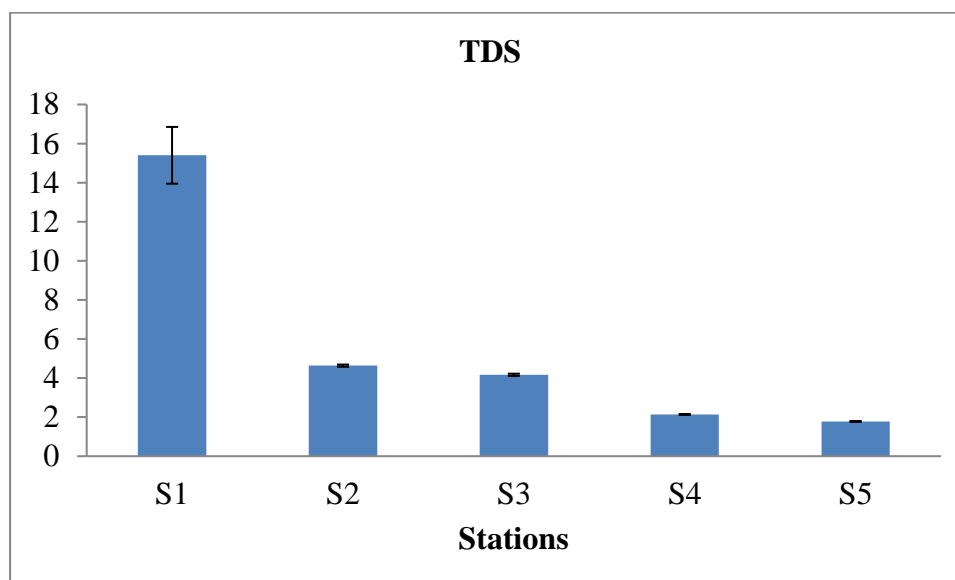
Une forte corrélation positive entre la salinité et NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (r= 0,97), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (r= 0,98), PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>(r= 0, 79), SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (r= 0, 99), Cl<sup>-</sup> (r= 0, 92), Cd (r= 0, 94), Cu (r= 0, 99).

### 1.6. TDS (total des solides dissous) :

Les teneurs moyennes en TDS varient entre une valeur maximale 15,63 mg/l au niveau de la station 01 et une valeur minimale 1,77mg/l au niveau de la station 05 (fig.12).

Des différences très hautement significatives de la teneur des eaux en TDS ont été enregistrés (ANOVA, F=222,539; P < 0,001).

Une forte corrélation positive entre TDS et CE (r= 0,99), sal (r= 0,99), NH<sub>4</sub><sup>+</sup>(r= 0,97) PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>(r= 0,79), SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>(r= 0,99), Cl<sup>-</sup>(r= 0,93), Cd(r= 0,94), Cu(r= 0,98).



**Fig.12** : Variations de TDS dans les eaux superficielles des 05 stations étudiées.

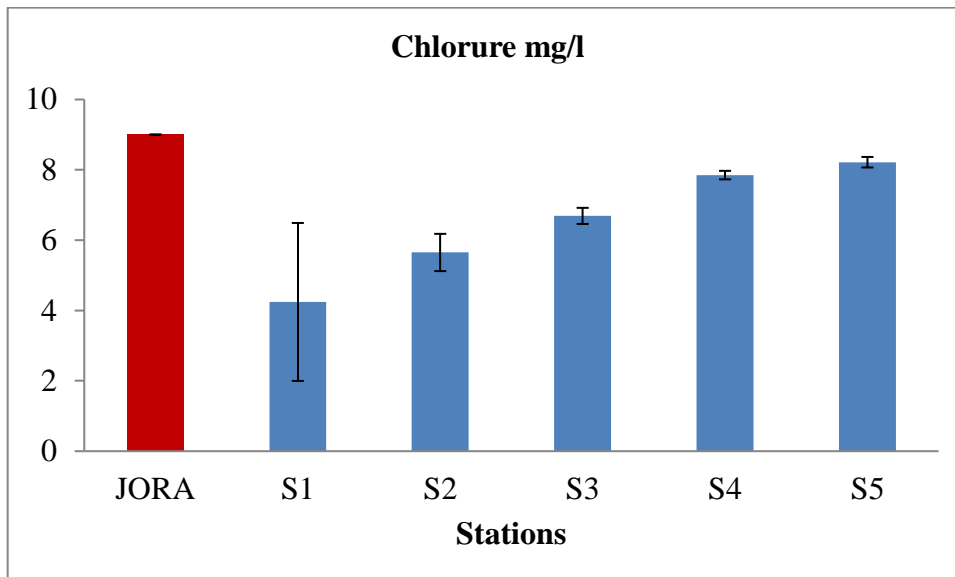
## 2. Les éléments minéraux majeurs :

**Tableau 03** : valeurs moyennes et écart type des éléments minéraux majeurs mesurés au laboratoire.

Paramètre \ Stations	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
S1	104,725 ±12,55	771±314,961902
S2	62,716 ±22,823	233±8,71779789
S3	43,783 ±26,644	207±4,04145188
S4	16,566 ±7,389	138,66±2,64575131
S5	40,233 ±16,396	98,66±5,50757055

### 2.1. Chlorure :

Les résultats obtenus du dosage de chlorure dans les eaux de surface des cinq stations étudiées de la région de Boudoukha sont représentées graphiquement dans la figure (fig.13). Nous avons constatés des variations dans les concentrations des chlorures des eaux analysée d'une station à autre ou nous avons enregistrées une valeur maximale au niveau de station 01 avec 104,72 mg/l suivi par la station 02 avec 62,71 mg/l puis la station 03 avec 43,78 mg/l et la station 05 avec 38,98 mg/l enfin la concentration minimale enregistrée au niveau de la station 04 avec un taux de 16,56 mg/l.

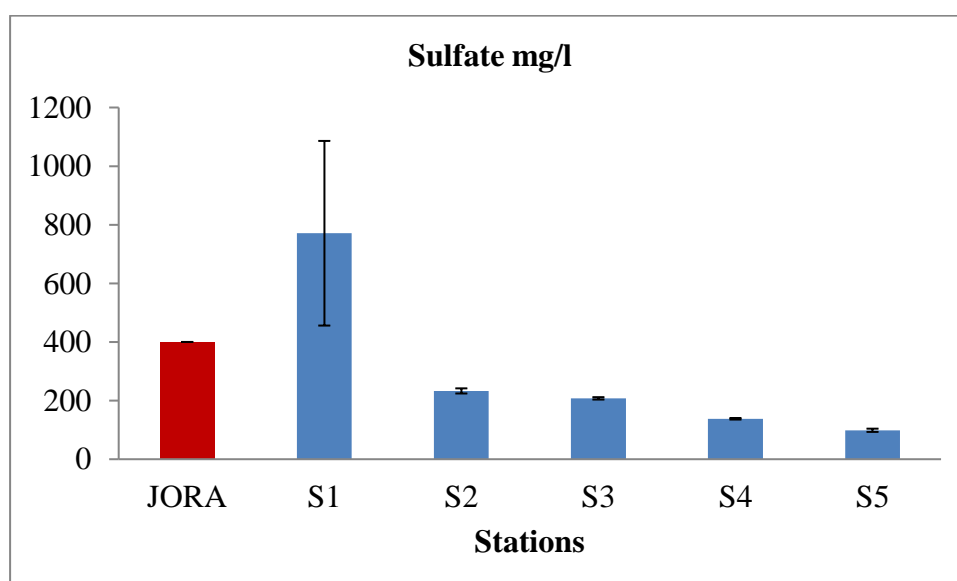


**Fig.13 :** Variation des concentrations des chlorures dans les eaux superficielles des 05 stations étudiées.

Des différences significatives de la teneur des eaux en Chlorures ont été enregistrés (ANOVA,  $F=9,973$ ;  $P < 0,05$ ).

## 2.2. Sulfate :

Les résultats obtenus du dosage des sulfates dans les eaux superficielles des cinq stations étudiées de la région de Boudoukha sont représentés graphiquement par la figure(fig.14), ces résultats montrent une variabilité entre les concentrations de sulfate dans les eaux analysées, la concentration maximale est enregistrées au niveau de la station 01 avec 771 mg/l ,et la concentration minimale est enregistrées au niveau de la station 05 avec 98,66 mg/l.



**Fig.14 :** variation des concentrations des sulfates dans les eaux superficielles des 05 stations étudiée.

Une corrélation fortement positive entre  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{Cl}^-$  ( $r= 0,91$ ),  $\text{Cd}$  ( $r= 0,94$ ),  $\text{Cu}$  ( $r= 0,99$ )

Des différences hautement significatives de la teneur des eaux en sulfate ont été enregistrés (ANOVA,  $F=11,367$ ;  $P < 0,01$ ).

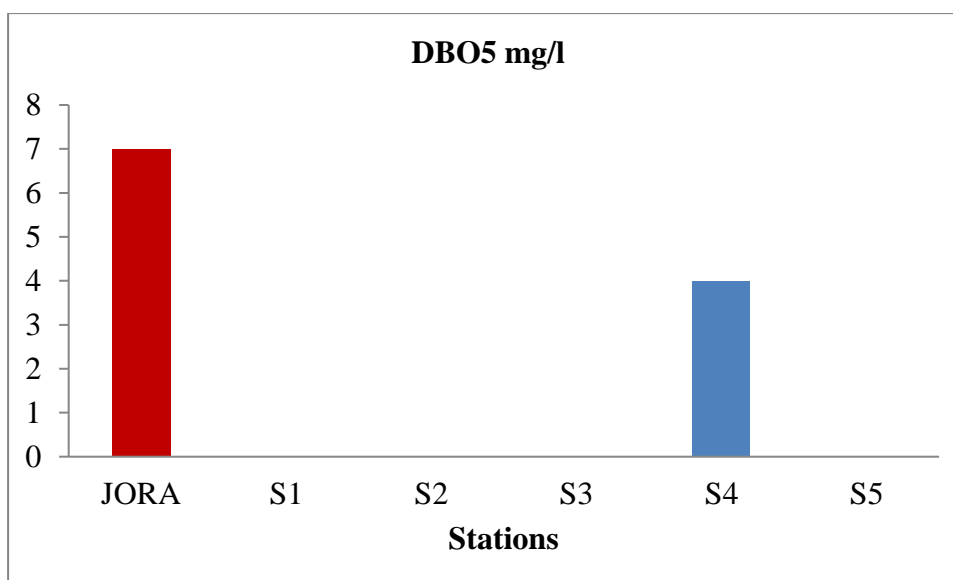
### 3. Les paramètres de la pollution organique :

**Tableau 04** : valeurs moyennes et écart type des paramètres de la pollution organique mesurés au laboratoire.

Paramètre Stations	DBO	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{NH}_4^+$
S1	0	0	1,352 $\pm 0,112$	0,004 $\pm 0,003$	0,023± 0,03692516
S2	0	2,426 $\pm 0,229$	0,328 $\pm 0,071$	0,001 $\pm 0,0005$	0
S3	0	0,402 $\pm 0,417$	0,402 $\pm 0,051$	0,001 $\pm 0,001$	0
S4	4	0	0,042 $\pm 0,033$	0	0
S5	0	0	0,037 $\pm 0,017$	0	0

#### 3.1. Demande Biologique en Oxygène :

A partir les résultats obtenus après 5 jours, la DBO est nul dans les stations 01, 02,03et 05, mais nous avons enregistré une valeur de 4mg/l  $\text{O}_2$  au niveau de la station 04 (fig.15).

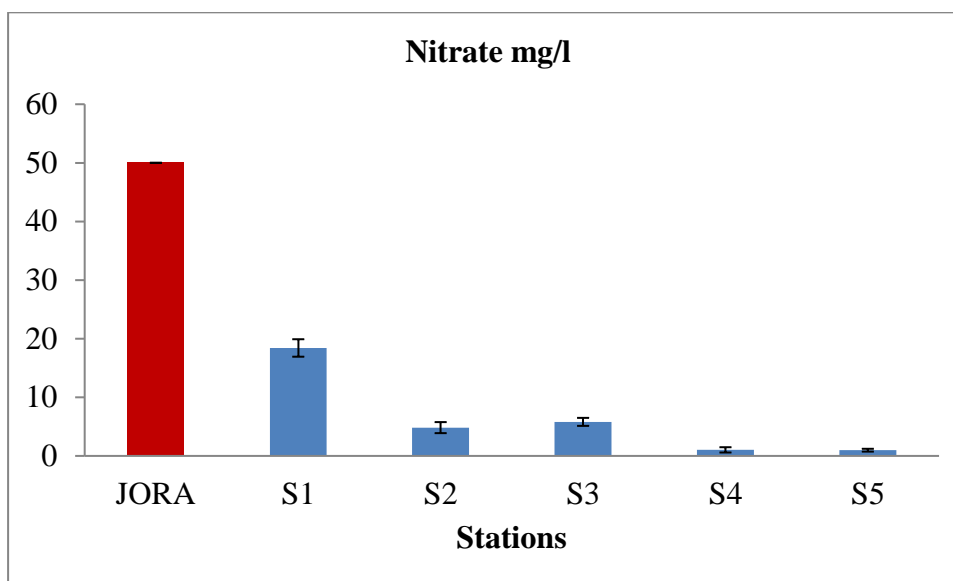


**Fig.15** : variation de DBO dans les eaux superficielles des 05 stations étudiées.



### 3.2. Nitrates :

Le dosage des nitrates dans les eaux des cinq stations prospectées de la région de Boudoukha présente des résultats illustrés graphiquement par la figure 16. Ils dévoilent que les valeurs enregistrés sont variée d'une station à une autre, la concentration le plus élevée est enregistrée au niveau de la station 01 avec 18,41 mg/l et la concentration le plus faible est enregistrés au niveau de la station 05 avec 0,97 mg/l. nous avons constaté également une diminution graduelle de la station 1 à la station 5.



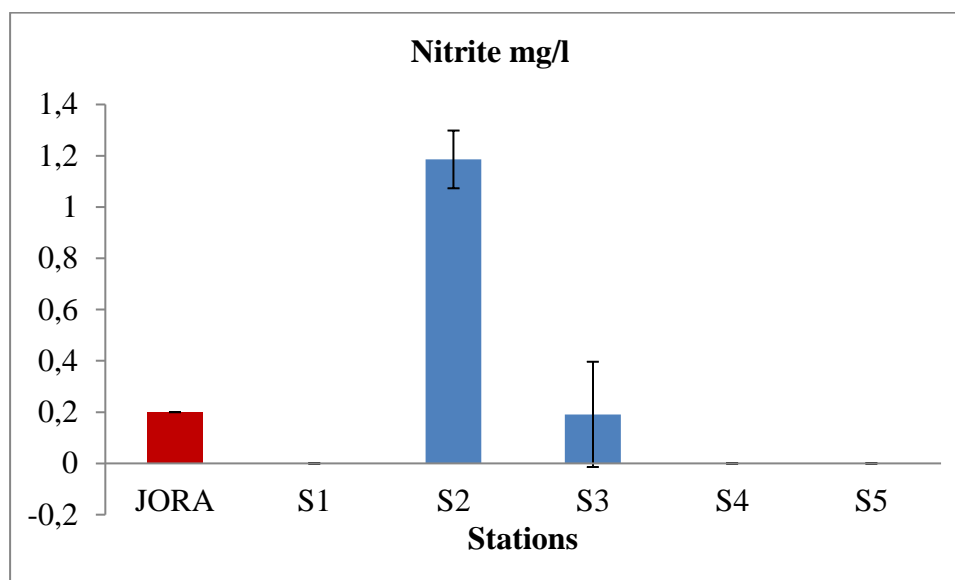
**Fig.16** variation des concentrations des nitrates dans les eaux superficielles des 05 stations étudiée.

Une corrélation positive entre  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{PO}_4^{3-}$  ( $r= 0,78$ ),  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $r= 0,98$ ),  $\text{Cl}^-$  ( $r= 0,91$ ), Cd ( $r= 0,95$ ) Cu ( $r= 0,97$ ).

Des différences très hautement significatives de la teneur des eaux en nitrates ont été enregistrés (ANOVA,  $F=200,702$ ;  $P < 0,001$ ).

### 3.3. Nitrites :

Les résultats obtenus représentées graphiquement par la figure 17. nous montrent que la concentration des nitrites est nulle au niveau des stations 1,4 et 5, cependant la teneur des eaux en nitrites au niveau de la station 2 et de 1.18 mg/, qui due fort probable aux rejets urbains, ce qui semble clair lors de l'échantillonnage.



**Fig.17 :** Variations des concentrations des nitrites dans les eaux superficielles des 05 stations étudiées.

Une corrélation fortement positive entre  $\text{NO}_2^-$  et Zn ( $r= 0,92$ ).

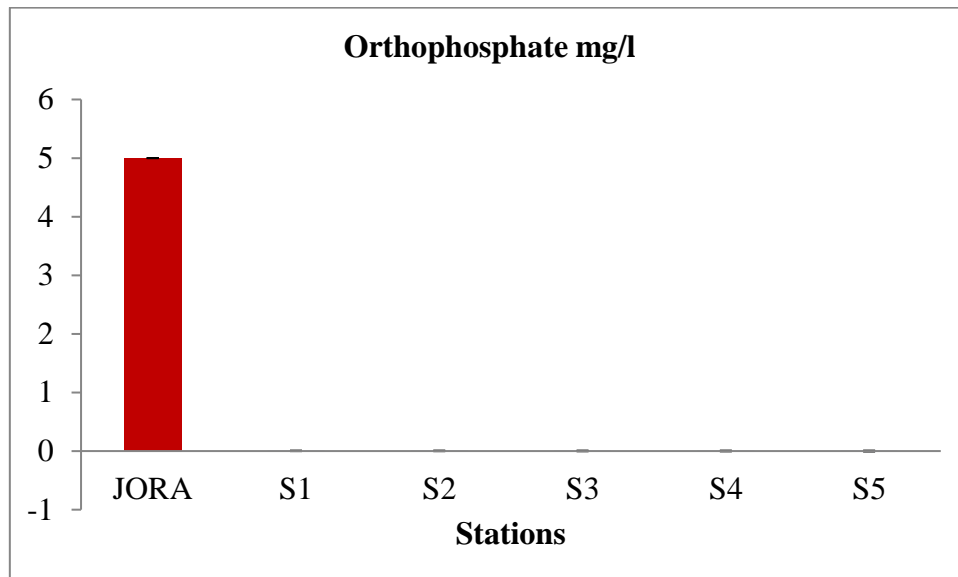
Des différences très hautement significatives de la teneur des eaux en nitrites ont été enregistrés (ANOVA,  $F=79,931$ ;  $P < 0,001$ ).

### 3.4. Orthophosphates :

Les valeurs de la concentration d'orthophosphates dans les eaux superficielles des cinq stations étudiée de la région de Boudoukha sont représentées graphiquement par la figure 18, nous avons enregistrées des valeurs très faible au niveau des cinq stations varient entre 0,0034 mg/l et 0,0003 mg/l.

Une corrélation positive entre  $\text{PO}_4^{-3}$  et  $\text{SO}_4^{-2}$  ( $r= 0,78$ ),  $\text{Cl}^-$  ( $r= 0,8$ ), Cu ( $r= 0,7$ ).

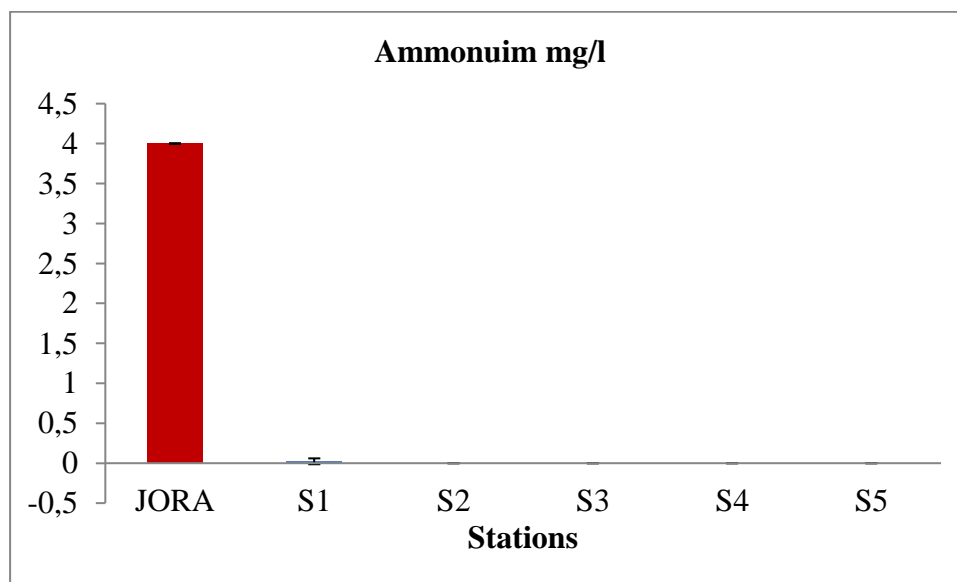
Il n'y pas des différences significatives de la teneur des eaux en orthophosphates entre les cinq stations d'étude (ANOVA,  $F=0,12$ ;  $P > 0,05$ ).



**Fig.18 :** Variations des concentrations d'orthophosphate dans les eaux superficielles des 05 stations étudiées.

### 3.5. Ammonium :

Mise à part les eaux de la galerie où nous avons enregistré de très faibles concentration en ammonium, les résultats obtenus du dosage d'ammonium nous à permet de constater une absence totale de l'ammonium des eaux de quatre stations (fig.19).



**Fig.19 :** Variations des concentrations d'ammonium dans les eaux superficielles des 05 stations étudiées.

Une corrélation fortement positive entre  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{NO}_3^-$  ( $r= 0,96$ ),  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $r= 0,98$ ),  $\text{Cl}^-$  ( $r= 0,86$ )  
 $\text{Cd}$  ( $r= 0,97$ ),  $\text{Cu}$  ( $r=0,99$ ).

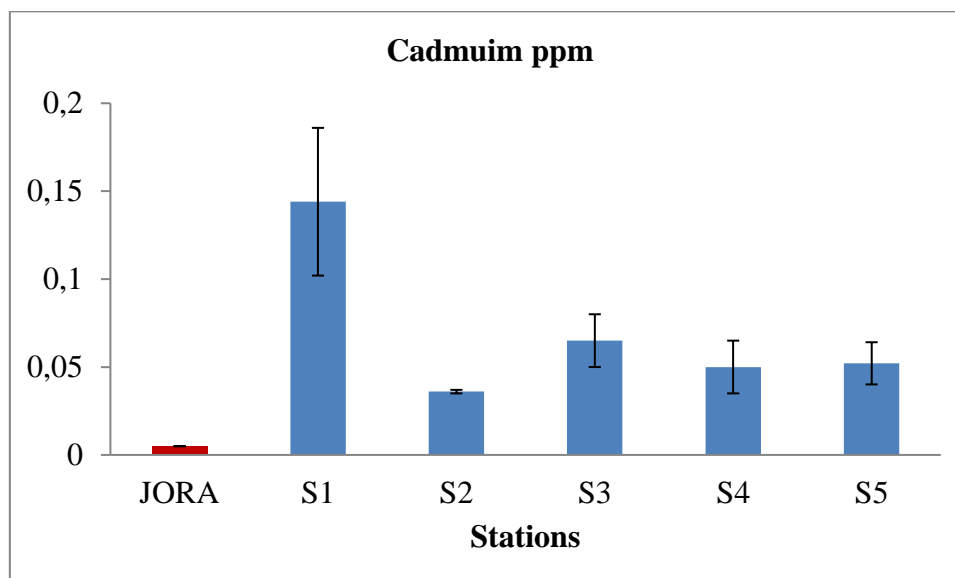
#### 4. Les métaux lourds :

**Tableau 04** : valeurs moyennes et écart type des métaux lourds.

Paramètre Station	Cu	Zn	Cd
S1	0,188±0,190	0,789±0,033	0,144±0,042
S2	0,018±0,005	0,245±0,0029	0,036±0,001
S3	0,019±0,014	0,077±0,024	0,065±0,015
S4	0,008±0,004	0,020±0,007	0,050±0,015
S5	0,007±0,001	0,014±0,001	0,0521±0,012

##### 4.1. Cadmium :

Les résultats obtenus des analyses montrent que les eaux des cinq stations étudiées de la région de Boudoukha contiennent le Cd, ces teneurs varient entre une valeur maximale de 0,144ppm enregistrée au niveau de la station 01 et une valeur minimale de 0,036 ppm enregistrée au niveau de la station 02.



**Fig.20** : Variations des teneurs en Cd dans les eaux des cinq stations étudiées.

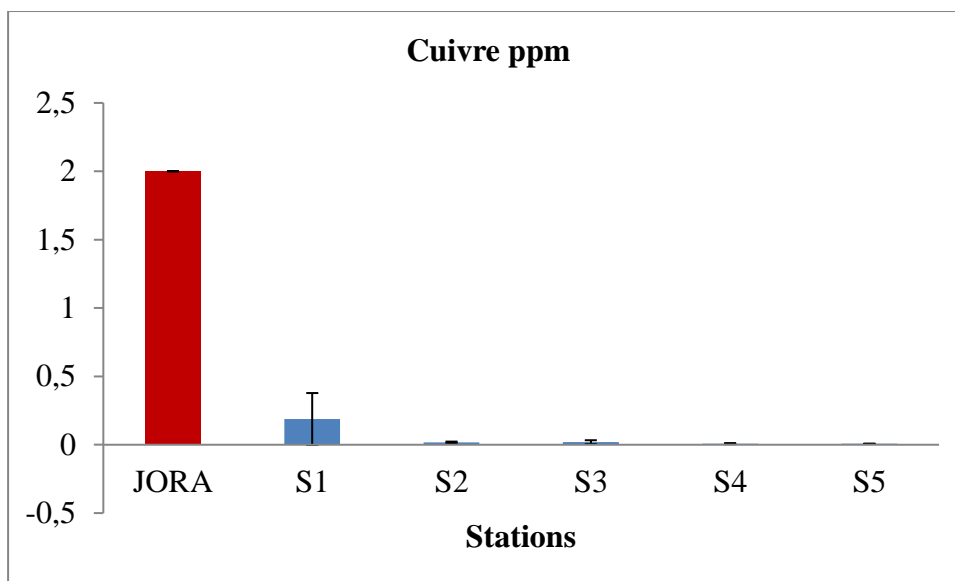
Une corrélation positive entre Cd et Cu ( $r=0,97$ ).

Des différences très hautement significatives de la teneur des eaux en Cd ont été enregistrés (ANOVA,  $F=11,121$ ;  $P < 0,05$ ).

##### 4.2. Cuivre :

À partir les résultats obtenus par notre étude sur les eaux superficielles des cinq stations de la région de Boudoukha nous avons enregistrés des concentrations faibles en Cu variées entre une valeur maximale de 0,224 ppm au niveau la station 01 et une valeur minimale de 0,014 ppm au niveau la station 05.

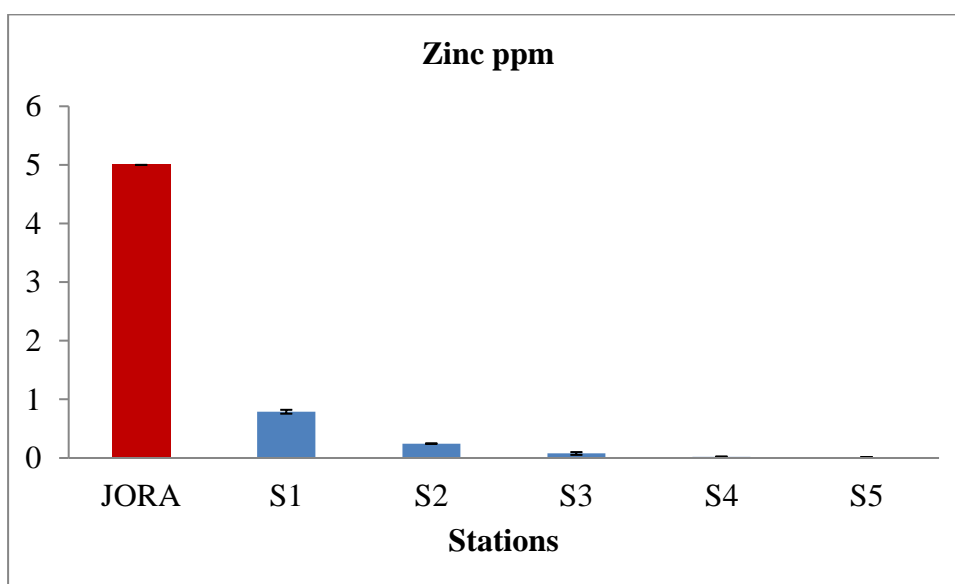
Il n'y pas des différences significatives de la teneur des eaux en Cu (ANOVA,  $F=2,510$ ;  $P > 0,05$ ).



**Fig.21** : Variations des teneurs des eaux en Cu dans les cinq stations étudiées.

#### 4.3. Zinc :

Notre étude sur les cinq stations de la région de Boudoukha montre que les eaux de surface de cette région ne contiennent que des traces en Zn, sa concentration a été variée entre 1,542 ppm enregistré au niveau la station 01 et 0,030 ppm au niveau la station 05 (fig.22). nous avons constaté également une diminution graduelle de la station 1 à la station 5.



**Fig.22** : Variation des teneurs en Zn dans les cinq stations étudiée.

Des différences très hautement significatives de la teneur des eaux en Zn ont été enregistrés (ANOVA,  $F=900,66$ ;  $P < 0,001$ ).

*Chapitre V :*

*Discussions*

## 1. Les paramètres physiques :

### 1. 1. La température :

La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques. Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes (**Makhoukh et al, 2011**).

La température variée en fonction de la température extérieure, des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol (**Rodier, 1996**).

Dans notre étude, la température enregistrée dans les cinq stations est variées d'une station à autre. Elle ne dépasse pas la norme des eaux potables fixée à 25 C° (**JORA, 2011**) dans les stations 01, 02, 03, néanmoins dans la station 04 (eaux de barrage, côté sud), Elle dépasse légèrement la norme parce que les eaux de cette station sont stagnantes et sont sous les rayonnements solaires directs.

Nos résultats sont similaire avec ceux de Mouni et al (2009) étude réalisé sur l'oued Soummam (Algérie), (21 C° et 26C°) Ben Moussa A et al (2012) étude sur l'oued Khoumane (Maroc), (20,7C° et 26,3 C°), et sont contradiction avec ceux trouvés par Tapsoba et al (2016) étude sur des eaux du Barrage d'Ouagadougou (Burkina Faso), (21,7 C° et 29,6C°) et Makhoukh et al. (2011) étude sur l'oued Moulouya (Maroc Oriental), (24 C° et 29 C°).

### 1.2. Potentiel hydrogène (pH) :

Le potentiel hydrogène (pH) sert à mesurer l'activité chimique des ions hydrogènes présents dans une solution. La valeur du pH influence la toxicité de plusieurs éléments et peut engendrer des réactions chimiques avec ceux-ci. Bien que le pH dépende en majorité de l'origine de l'eau et de la nature géologique du sous-sol, il varie aussi en fonction des pressions liées aux activités anthropiques. Les valeurs inférieures à 7 indiquent des conditions d'acidité tandis que celles supérieures indiquent des conditions alcalines ou basiques (**Lescot, 2017**).

Les eaux de notre étude, présente un pH très acide au niveau de la galerie et de la station 02 ce qui expliqué par le drainage minier d'acide (DMA) qui est le résultat de la circulation des eaux à travers les composantes d'un site minier. Les DMA ont une composition chimique marquée par de fortes concentrations en Fe, Cd et Mg, dans les cas les plus extrêmes, en divers métaux lourds et éléments toxiques. Le DMA peut également dégrader les communautés végétales riveraines en entraînant la mort d'espèces d'arbres non tolérantes à l'acidification du sol. Il constitue également un préjudice au paysage par l'impact visuel des précipitations de couleur rouille qui lui sont généralement associées.

Le pH n'a pas de signification sanitaire directe, mais une acidité trop élevée traduit une eau instable et donne lieu à des phénomènes de corrosion. Le fer et le manganèse sont des éléments essentiels de la nutrition humaine. Leur présence peut par contre être gênante car elle donne à l'eau une couleur jaune à orangée (fer) ou noirâtre (manganèse), provoquer des dépôts d'hydroxyde, donner un goût métallique désagréable et tâcher le linge (**Collon, 2003**).

Les normes algériennes fixent le pH de la potabilité de l'eau entre 6,5 et 9, cependant les valeurs moyennes du pH des eaux des stations 03,04 et 05 sont dans la norme (**JORA, 2011**). Contrairement aux eaux à la sortie de la galerie qui présente une forte acidité.

Nos résultats sont similaires avec ceux de Allalguia et al (2017) étude réalisée sur le Barrage Foug El-Khanga (Algérie), (7,06 et 8,6), et sont en contradiction avec ceux trouvés par Richard et al (1997) étude sur le Barrage de Petit-Saut, (5,95 et 6,23).

### **1.3. Conductivité électrique :**

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

La CE représente la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle est proportionnelle à la minéralisation de l'eau, ainsi plus l'eau est riche en sels minéraux ionisés, plus la conductivité est élevée (**Reggam et al, 2015**).

La conductivité électrique de l'eau dépend de sa concentration ionique et de sa température. Sa mesure permet d'apprécier les changements de la composition de l'eau et plus spécifiquement des concentrations minérales dans l'eau. Plus la valeur de la conductivité augmente, plus sa concentration en solide dissous est importante (**Lescot, 2017**).

Les résultats obtenus dans les cinq stations étudiées sont très élevés, **Rejsek (2002) et Rodier, (2009)** ont relié l'augmentation de la CE d'une eau soit par des pH anormaux tel que le cas des eaux de la galerie (station 1), soit par une augmentation des taux de la salinité.

Toutes les valeurs de la conductivité électrique dépassent la norme algérienne de la potabilité de l'eau fixée par 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  même au niveau des stations du barrage (**JORA, 2011**).

Nos résultats sont similaires avec ceux de Derwich et al (2010) étude réalisée sur l'oued fes, (supérieures à 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et sont en contradiction avec ceux trouvés par El Addouli et al (2009) étude sur l'oued Bouishak (Maroc), (906  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 1076  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )



#### 1.4. Oxygène dissous :

L'oxygène est l'un des paramètres particulièrement utile pour l'eau et constitue un excellent indicateur de sa qualité. C'est un des paramètres les plus sensibles à la pollution. Sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré de l'autoépuration d'un cours d'eau (**Makhoukh et al, 2011**). Plus les eaux sont superficielles et plus elles sont chargées en oxygène (**Savary, 2003**).

L'oxygène dissous est absent dans les eaux souterraines (**Degrémont, 2005**). Il est inversement proportionnel à la température (**Rodier, 1996**).

Nos résultats montrent que les eaux des cinq stations sont bien oxygénées ce qui peut être expliqué par le contact direct avec l'atmosphère. Cependant les valeurs moyennes de ce paramètre sont dans la norme de l'eau potable en Algérie fixée à 30% (**JORA, 2011**).

Nos résultats sont similaires avec ceux d'Allalguia et al (2017) étude réalisée sur Barrage Foug El-Khanga (Algérie), (5,12 mg/l et 7,70 mg/l) et sont proches avec ceux de Fawzi et al (2001) étude sur l'oued Za, (7,01mg/l et 5,78mg/l).

#### 1.5. Salinité :

La salinité désigne la quantité de sels dissous dans un liquide, notamment l'eau qui est un puissant solvant pour de nombreux minéraux.

La salinité est définie conventionnellement comme la masse en grammes des composés solides séchés à poids constant à 480°C, obtenue à partir de 1 kg l'eau. Il est supposé que la matière organique a été oxydée de brome et l'iode remplacés par leur équivalent en chlore et les carbonates convertis en oxydes. Plusieurs organismes internationaux ont établi en 1956 des tables océanographiques internationales, et recommandent l'emploi d'une nouvelle relation empirique plus précise entre la salinité et la chlorinité (**Rodier et coll, 2005**).

La salinisation des eaux douces entraîne des effets importants sur la biodiversité. **Derry et al, (2006)** ont rapporté que la salinité et de la biodiversité aquatique sont inversement proportionnels dans l'eau du lac. Cette diversité diminue à mesure que les tolérances osmotiques sont dépassées avec l'augmentation de la salinité (**Derry et al, 2006**).

Les animaux d'eau douce doivent maintenir un équilibre osmotique entre la concentration en ions de leurs cellules et leurs fluides corporels, qui sont fortement influencés par la salinité de l'eau environnante en raison de la perméabilité du corps (**Rankin et Davenport, 1981 ; Pinder et al, 2005**).

#### 1.6. TDS (total des solides dissous) :

Les matières dissoutes totales (TDS) sont naturellement présentes dans l'eau ou résultent de l'exploitation minière ou d'un traitement industriel de l'eau.

Le TDS est une mesure de la teneur combinée en substances dissoutes de toutes les substances inorganiques et organiques présentes dans un liquide. La principale application de la mesure des TDS réside dans l'étude de la qualité de l'eau pour les ruisseaux, les rivières, les barrages et les lacs, bien que les TDS ne soient généralement pas considérés comme un polluant primaire, ils sont utilisés comme une indication des caractéristiques esthétiques de l'eau potable et un indicateur global de la présence d'un large éventail de contaminants chimiques. Les TDS sont influencés par la T° et le pH (**Jezerersk'y, 2007**).

Les sources primaires pour les TDS dans les eaux réceptrices sont le ruissellement agricole et résidentiel, le lessivage des sols contaminés et toute source ponctuelle de pollution de l'eau par décharge industrielle ou par les rejets urbains tels que les eaux usées. Les constituants chimiques les plus courants sont le Calcium, phosphates, nitrates, Sodium, potassium et chlorure, qui se trouvent sous forme de nutriments dans des eaux pluviales. Les produits chimiques peuvent être des cations, des anions, des molécules... Des éléments plus exotiques et dangereux de SDT sont les pesticides résultant de l'écoulement de surface. Certains solides dissous totaux proviennent naturellement de la désagrégation et de dissolution des roches et des sols.

## **2. Les éléments minéraux majeurs :**

### **2.1. Chlorure :**

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Les chlorures peuvent avoir des effets toxiques aigus et une toxicité chronique à de plus faibles concentrations sur les organismes aquatiques. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux (**Makhoukh et al, 2011**).

Les concentrations naturelles en chlorures dans les eaux de surfaces dépendent de la composition chimique du socle rocheux, du climat et de la proximité de la mer. Dans notre étude nous avons enregistrées des teneurs en chlorure variées entre [16,57-104,73mg/l], La teneur en chlorures d'une eau dépend de l'origine de l'eau et de la nature du terrain qu'elle traverse. Les chlorures participent à la conductivité électrique des cours d'eau. Ces valeurs restent sous la norme algérienne pour les eaux potables qui est de 600 mg/l (**JORA, 2011**). Les ions Cl<sup>-</sup> participent dans la formulation moléculaire de KCl, NaCl et HCl, cela peut être expliqué l'important taux de salinité et la forte acidité des eaux de la galerie. Le chlore ne se rencontre que dans quelques minéraux des roches magmatiques, mais il est souvent présent sous forme d'acide chlorhydrique dans les fumerolles volcaniques. L'altération de ces roches magmatiques à la surface des continents libère des ions Cl<sup>-</sup>.

## 2.2. Sulfate :

Les sulfates sont liés aux cations majeurs : calcium, magnésium et sodium, leurs concentration dans les eaux naturelles est très variables mais ne dépasse pas le 1 g/l (**Rodier, 1984**). La présence des sulfates dans des eaux naturelles est liée à la présence de gypse ou de pyrite qui résulte par DMA (**Vittet, 2011**).

Dans notre étude les sulfates sont présentées dans toutes les eaux de stations étudiées avec des valeurs inférieure à la norme de potabilité d'eau fixée selon le journal officiel de la république algérienne avec 400mg/l (**JORA, 2011**), sauf dans la station 01 ; la teneur en sulfate est dépassée la norme cela peut être expliqué par les activités d'exploitation d'ancienne mine de Boudoukha et leur décharges à proximités des certains oued.

Nos résultats sont similaires avec ceux de Khamar et al (2000) étude réalisé sur un cours d'eau marocain.

## 3. Les paramètres de la pollution organique :

### 3.1. Demande biochimique en oxygène :

La demande biochimique en oxygène pendant cinq jours, ou **DBO5**, est l'un des paramètres de la qualité d'une eau. Cette **DBO5** mesure la quantité de matière organique biodégradable contenue dans une eau. Nos résultats montrent des valeurs de la DBO nulles dans les eaux de toutes les stations exception aux eaux du barrage où nous avons constaté 4mg/l de la DBO qui témoigne d'une activité biologique et d'une pollution organique.

### 3.2. Nitrate :

Les nitrates est une production naturelle créée au cours du cycle de l'azote. Ils constituent le stade final de l'oxydation de l'azote, et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans l'eau. Leurs concentrations dans les eaux naturelles sont comprises entre 1 et 10 mg/l (**Makhoukh et al, 2011**).

L'ion nitrate est la forme d'azote inorganique présente naturellement dans le milieu naturel tandis que l'ion nitrite, qui s'oxyde facilement en ion nitrate, n'est pas abondant dans le milieu hydrique. Ce dernier est une forme toxique de l'azote et peut favoriser la méthémoglobinémie infantile s'il est présent dans l'eau potable. Les rejets provenant des effluents industriels et municipaux, le lessivage des engrais agricoles sont les principales sources de nitrates dans les milieux aquatiques. Les concentrations pour ce paramètre sont mesurées en mg/L (**Lescot, 2017**). La limite de détection des nitrites-nitrates est de 0,02 mg/l (**MDDELCC, 2014**). Pour l'eau potable, la concentration maximale acceptable en nitrates a été définie à 10 mg/l. En ce qui concerne la protection de la vie aquatique, il est déterminé qu'une concentration de 2,9 mg/l de nitrates à des effets toxiques chroniques, sans tenir compte cependant des effets indirects d'eutrophisation.

Les concentrations naturelles du nitrate ne dépassent pas 3 mg/l dans les eaux superficielles et quelque mg/l dans les eaux souterraines (**Rejesk, 2001**).

A partir le dosage des nitrates dans les eaux superficielles des cinq stations étudiées nous avons enregistrées la présence des nitrates dans tous les stations mais à de faible concentrations et inférieur au seuil fixé par la norme algérienne qui est de 50 mg/l(**JORA, 2011**).De nombreuses eaux souterraines et de surfaces ont une concentration élevée en nitrate du fait de l'enrichissement des sols par les engrais ou par les rejets d'eaux usées domestiques ou industrielles.

Le nitrate en lui-même n'est pas toxique. Sa toxicité vient de la chaîne de réaction qu'il subit dans l'organisme. Le nitrate est réduit par des enzymes en nitrite. Celui-ci peut oxyder l'hémoglobine en méthémoglobine, qui ne peut plus absorber d'oxygène.

Nos résultats sont proche avec ceux de Makhoukh et al (2011) étude réalisé sur l'oued Moulouya (Maroc), (0,2mg/l et 5,47mg /l), et sont contradiction avec ceux trouvés par Fagrouch et al (2012) étude sur l'oued Za, (-0,42 mg/l et 0,85mg/l)

### 3.3. Nitrites :

Les nitrites proviennent soit une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action des nitrifiants. Les nitrites sont réponsus dans l'eau mais en quantité relativement faibles (**Rodier, 1996**). Une concentration de 0,06 mg/l de nitrites a des effets aigus sur la vie aquatique, alors qu'une concentration de 0,02 mg/l a des effets chroniques (**MDDEFP, 2013**).

Le dosage des nitrites dans les cinq stations étudiées montre leurs absence au niveau de la station 01, 04 et 05 mais il est présente au niveau la station 02 avec une concentration dépasse la norme algérienne fixée à 0,2 mg/l (**JORA, 2011**) à cause des infiltrations des engrais et des pesticides utilisés en agriculture au voisinage du cours d'eau et aussi par le phénomène de l'eutrophisation.

Nos résultats sont concordent avec ceux de Gouasmia et al (2016) étude réalisé sur l'oued Righ (Algerie), (0 mg/l et 0,1mg /l) et sont contradiction avec ceux trouvés par Ben Moussa A et al (2012) étude sur l'oued khoumane (Maroc), (1,45mg /l et 1,09 mg /l).

### 3.4. Orthophosphates :

Les phosphates sont de sels de l'acide orthophosphorique composant la teneur en phosphate des eaux constitue un facteur déterminant leur fertilité car il représente dans la quasi-totalité des cas le type de nutriment présent (**Ramade, 1998**).

En milieu agricole, le phosphore provient principalement des fumiers et lisiers organiques, des engrais minéraux, et du phosphore déjà présent et accumulé dans les sols cultivés (**MDDELCC, 2014**). L'excédent de phosphore, qui n'est pas assimilé par les végétaux, va être lessivé dans les

cours d'eau. Lorsque le phosphore est abondant dans les cours d'eau, celui-ci contribue à la croissance excessive des végétaux aquatiques et par conséquent à l'augmentation de la variation de la concentration en oxygène dissous, élément essentiel à la respiration de la faune ichthyologique (**Hébert et Légaré, 2000**).

Les faibles concentrations qui ont été enregistrées au niveau des cinq stations sont inférieures à la norme algérienne de potabilité d'eau fixée à 5 mg/l, elles sont d'origine agricole, due essentiellement à l'utilisation des engrais et des pesticides. Ces concentrations ne constituent pas jusqu'à présent un risque de pollution.

Nos résultats sont similaires avec ceux d'El Kharmouz et al (2013) étude réalisée sur l'oued de la ville d'Oujda (Maroc).

### **3.5. Ammonium :**

L'azote ammoniacal est une forme d'azote qui est toxique pour la vie aquatique. Dans le milieu naturel, il est faiblement présent. Les principaux apports dans les eaux de surface proviennent principalement des activités humaines : lessivage des terres agricoles et des eaux usées d'origine municipale et industrielle. Il est donc un bon indicateur de la présence d'activités anthropiques. L'azote ammoniacal est mesuré en mg/L (**Lescot, 2017**).

Ce composé est toxique pour la vie aquatique. Il est cependant converti en nitrites et en nitrates par l'activité bactérienne. Ces composés sont quant à eux moins toxiques (**Geneviève et al 2014**).

La limite de détection de l'azote ammoniacal est de 0,02 mg/l (**MDDELCC, 2014**). Les critères de qualité concernant ce paramètre varient selon le pH et la température de l'eau (**MDDEFP, 2013**).

Les normes de potabilité algériennes pour l'ammonium sont fixées à 4 mg/l (**JORA, 2011**) cependant les taux moyens d'ammonium dans les eaux de la galerie, la seule station où nous avons constaté l'ammonium ne dépassent pas cette norme.

Nos résultats sont proches avec ceux de Fawzi et al (2001) étude réalisée sur l'oued Hassar (Maroc), (0 mg/l et 0,01 mg/l) Harrat et Achour (2010) étude sur le barrage de la région d'El Tarf, (>0,01 mg/l).

### **4. Les métaux lourds :**

Les résidus miniers abandonnés peuvent également être riches en métaux dangereux pour la santé et l'environnement, tel que le Cd, Cu ou le Zn. Le DMA est une source de pollution par les métaux, il conduit, par la formation d'acide sulfurique qui se mêle aux eaux d'écoulement, à l'acidification du milieu récepteur et a des conséquences désastreuses sur l'environnement. Il peut se résumer à la formule suivante :

Minerais sulfurés +Eau +Oxygène  $\implies$  sulfate+Acide +métaux (**Vittet, 2011**).

Le pH peut affecter considérablement la mobilité des métaux lourds (**Baghdad et al ,2009**).

#### 4.1. Cd:

Les résultats d'analyse du Cd dans les eaux superficielles de la région de Boudoukha montrent que les teneurs en cet élément sont supérieures à la norme algérienne fixée à 5 $\mu$ g/l (**JORA, 2011**). Cette présence peut être due au déversement direct des eaux écoulant par les résidus miniers abandonnés très riches en ETM (source industriel) dans les oueds et barrage.

#### 4.2. Cu :

Les concentrations du Cu des eaux de surface des cinq stations étudiées ne dépassent pas la norme algérienne en eau destinée à la potabilité qui est de 2 mg/l (**JORA, 2011**), la présence de cet élément peut être due au les déchets minière de l'ancienne mine de Boudoukha.

#### 4.3. Zn :

Nos résultats montrent que les cinq stations de la région de Boudoukha ne contiennent que quelques traces de Zn dans toutes les eaux analysées, avec des valeurs inférieures à la norme algérienne en eau potable fixée à 5 mg/l (**JORA, 2011**), la présence de cet élément dans les eaux de surface peut être due aux déchets du minerai abandonné.

Nos résultats sont concordent avec ceux de Mouni et al (2009) étude réalisé sur l'oued Soummam (Algérie), (0,0302 mg/l et 0,149 mg/l).

# *Conclusion*

## Conclusion

L'exploitation minière est l'une des plus importantes sources de métaux lourds dans l'environnement. Elle affecte les bassins d'eau douce par l'utilisation d'eau pour le traitement du minerai et par la pollution faite lors des décharges d'effluent des mines. L'extraction, naturellement, consomme beaucoup d'eau et peut polluer très sérieusement des cours d'eaux.

Les mines abandonnées sans réhabilitation constituent nécessairement pour leur part des sources de contamination des eaux de surfaces et souterraines. La pollution de l'eau causée par l'exploitation minière peut prendre des décennies même des siècles avant de se dépolluer après la fermeture de la mine. Ces impacts dépendent d'une variété de facteurs comme la sensibilité du terrain et la composition des minéraux extraits.

Le site minier de Boudoukha est l'un des sites abandonné à l'est de l'Algérie, il constitue une menace pour l'environnement et plus particulièrement pour les eaux des cours d'eau. Les eaux issues de la galerie de la mine se déversent directement dans l'oued de Boudoukha qui alimente en partie le barrage de Boussiaba nouvellement construit et qui est destiné à l'alimentation en eau potable.

L'objectif de ce travail consiste à :

Évaluer l'impact de la mine abandonnée de Boudoukha sur la qualité des eaux superficielles de la région. Pour réaliser cet objectif, cinq stations ont été choisies à partir de la galerie de la minerai et j'jusqu'au barrage de Boussiaba le long de l'oued de Boudoukha. La température, l'oxygène dissous, TDS, salinité et le pH ont été mesurés *in situ* à l'aide d'un multi-paramètre de terrain. L'ammonium, les nitrates, les nitrites, les chlorures et la DBO5 sont mesurés au laboratoire d'écotoxicologie, faculté SNV.

Les résultats des paramètres physico-chimiques des eaux superficielles obtenues lors la mesure *insitu* montrent que les eaux de la première station sont très acides, cette acidité provienne de le DMA. L'acidité de l'eau augment graduellement j'jusqu'au barrage.

La température des eaux superficielles de la région de Boudoukha est variée dans les cinq stations étudiées est influencée par la température ambiante, la valeur maximale de 26.16 °C est enregistrée au niveau du barrage.

Une faible salinité des eaux a été enregistrée au niveau de toutes les stations à l'exception de la station 01 où nous avons enregistré 16.33 g/.

Des valeurs très élevées de la conductivité électrique ont été constaté au niveau de toutes les stations et qui dépassent la norme algérienne de potabilité d'eau.

La première station est caractérisée par des eaux très acides avec des valeurs importantes de TDS et de salinité.

Les eaux de toutes les stations prospectées sont bien oxygénées.



Les résultats des éléments minéraux majeurs [Cl<sup>-</sup>, (SO<sub>4</sub>)<sup>-2</sup>] obtenues montrent que ces derniers présentent des valeurs importantes au niveau de la première station ce qui confirme le phénomène de DMA et la formation d'acide sulfurique et de l'acide chlorhydrique ce qui explique l'excès de l'acidité au niveau des eaux de la première station.

La mesure des paramètres de pollution organique (DBO, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) montrent les teneurs des eaux en ces éléments sont dans les normes de potabilité algérienne, à l'exception des nitrites au niveau 02 où nous avons enregistré une teneur qui dépasse la norme et qui due principalement aux rejets urbains et aux activités agricoles.

Les résultats d'analyse du cuivre et du zinc par SAA montrent que les teneurs en ces éléments restent inférieures à la norme algérienne.

Les eaux analysées sont fortement contaminées par Cd qui dépasse la norme algérienne des eaux potables.

Cette étude nous a permis de conclure que les rejets du site minier abandonné de la région de Boudoukha ont posés de nombreux problèmes à l'environnement et surtout sur le milieu aquatique.

Enfin et comme perspectives il est nécessaire de faire des études sur l'impact de ces rejets sur la faune aquatique, tel que les macro-invertébrées et les poissons. Il est intéressant de faire également des études sur le lait et la viande des cheptels qui se nourrissent de la végétation riveraines.

## A

- Afri-Mehennaoui F Z, 1998.** Contribution à l'étude physico-chimique et biologique de l'Oued Kébir-Rhumel et de ses principaux affluents. Mémoire de magistère en écologie. Université Mentouri, Constantine. 238 p.
- Allain Y M, Helias A, Ribiere G, Genevois R et Le dore F ,2006.** La gestion des estuaires dans une approche communautaire. Rapport du ministère des transports, de l'équipement, du tourisme et de la mer.
- Allagua A, Kaouachi N, Boualeg C et Ayari A, 2017.** Caractérisation Physico-chimique des Eaux Du Barrage Foug El-Khanga (Région De Souk-Ahras, Algérie). *European Scientific Journal édition Vol.13, No.12 ISSN: 1857 – 7881 (Print) - ISSN 1857- 7431.*
- André M F ,2007.** Du continent au bassin versant: Théories et pratiques en géographie physique; hommage au professeur Alain Godard .Vol 4. Presses Université Blaise Pascal.
- Aubertin M, Bussière B, Bernier L, Chapuis R, Julien M, Belem T et Li L, 2002.** La gestion des rejets miniers dans un contexte de développement durable et de protection de l'environnement. Congrès annuel de la Société canadienne de génie civil, pp : 5-8.

## B

- Baghdad B, Naimi M, Bouabdli A, Sonnet P, Garcia A, Bounakhla M et Inigo A ,2009.** Evaluation de la contamination et évolution de la qualité des eaux au voisinage d'une mine abandonnée d'extraction de plomb (Zaida - Haute Moulouya – Maroc) Marrakech 28-30.
- Banas D et Lata J C ,2006 .** Nitrates. The White Paper pollutants habitat.
- Barkai O, Nga Léopold E et Ondoa A, 2014.** Évaluation du niveau de pollution par les métaux lourds des lacs Bini et Dang, Région de l'Adamaoua, Cameroun. *Afrique Science* 10(2)184 - 198 184.
- Bengherbia A, Hamaidi F, Zahraoui R, Hamaidi M S et Megateli S ,2014.** Impact des rejets des eaux usées sur la qualité physico-chimique et bactériologique de l'Oued Beni Aza (Blida, Algérie). *Lebanese science journal, 15(2), 39-51.*
- Ben Moussa A, Chahlaoui A, Rour E H, Chahboune M et Aboukacem A, 2012.** Étude du changement de l'état des eaux de l'oued khoumane a la confluence avec les eaux thermales de la source ain hamma moulay idriss Maroc. *Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 11, pp. 17-36.*
- Boisgontier J, 1993.** Note sur les lagunes de Gascogne. *Nouvelle revue d'onomastique, 21(1), 55-58.*

- Bouftouha Y, 2000.** Pétrologie, géochimie et métallogénie des skarns de la Kabyle de Collo (Nord-Est Algérien). Unpublished Thesis. Université de Mentouri, Constantine. 257p.
- Bourahla M, 2011.** Etude métallogénique comparative de deux principales concentrations minérales de type filonien néogène dans la partie centrale de massif de la petite kabylie .Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme du magister. Université houari Boumediene.
- Bouttine N et Serir M, 2002.** Contribution à l'étude métallique de la mine de boudoukha (Kabylie de Collo). Université Mentouri- Constantine. 44 p.
- Brais I, 2009.** Procédures d'échantillonnage de l'eau Pour analyse en laboratoire .Groupe horticole ledoux.
- Bussière B, Aubertin M, Zagury G J, Potvin R et Benzaazoua M, 2005.** Principaux défis et pistes de solution pour la restauration des aires d'entreposage de rejets miniers abandonnées. In Symposium 2005 sur l'environnement et les mines.

## C

- Cabane F, 2012.** Lexique d'écologie, d'environnement et d'aménagement du littoral. Version 24. Ifremer, p 342.
- Camps G, 2015.** Babor. Encyclopédie berbère, 9 | Baal – Ben Yasla.
- COLLON P, 2003.** Evolution de la qualité de l'eau dans les mines abandonnées du bassin ferrifère lorrain. De l'expérimentation en laboratoire à la modélisation *in situ*. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine, France.
- Coté M, 1996.** Paysages et patrimoine: guide d'Algérie. Media-Plus/Algérie .P 319-171.
- Couillard C M, Lee K, Légaré B et King T L, 2005.** Effect of dispersant on the composition of the water-accommodated fraction of crude oil and its toxicity to larval marine fish. Environ. Toxicol.Chem.24, 1496 –504.

## D

- Dahmani M, 2015.** Kabylie: Géographie. Encyclopédie berbère, 26 Judaïsme – Kabylie.
- Dégrémont, 2005.** Mémento technique de l'eau (p1718).
- Derry A M , Prepas E E et Hebert P D N, 2003.** A comparison of zooplankton communities in saline lakewater with variable anion composition. Hydrobiologia, 505: 199-215.

**-Derwich E, Benaabidate L, Zian A, Sadki O et Belghity D, 2010.** Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du haut sebou en aval de sa confluence avec oued fes. *larhyss journal, issn 1112-3680, n° 08, pp. 101-112*

**-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.

## E

**-El Addouli J, Chahlaoui A, Berrahou A, Chafi A, Ennabile A, Karrouch L ,2009 .** Influence des eaux usees, utisees en irrigation, sur la qualité des eaux de l'oued Bouishak - région de Meknes (centre-sud du Maroc). *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn. Vol 3, N° 1, p : 57-75.*

**-El Hachimi M L, Bouabdli A et Fekhaoui M, 2013.** Les rejets miniers de traitement: caractérisation, capacité polluante et impacts environnementaux, mine Zeïda, mine Mibladen, Haute Moulouya (Maroc). *Environnement & technique. (323), pp : 32-42.*

**-EL Kharmouz M, SBaa M, Chafi A, Saadi S, 2013.** L'étude de l'impact des lixiviats de l'ancienne décharge publique de la ville d'Oujda (Maroc Oriental) sur la qualité physicochimique des eaux souterraines et superficielles, *Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°16, pp. 105-119.*

## F

**-Fagrouch A, Berrahou A, El Halouani H, Chafi A, 2012.** Étude d'impact des eaux usées de la ville de Taourirt sur la qualité physico-chimique des eaux de l'oued Za. *Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 11, pp. 63-77.*

**-Fawzi B, Chlaida, M, Oubraim S, Loudiki M, Sabour, B et Bouzidi A, 2001.** Application de certains indices diatomiques à un cours d'eau marocain: Oued Hassar. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science, 14(1), 73-89.*

**-Fortier F J, 2019.** Définition d'eau de surface. AquaPortail.

## G

**-Geneviève G, Marie-Ève T et Christian P, 2014.** Suivi de la qualité de l'eau de la rivière Rouge Municipalité de L'Ascension. Organisme de bassins versants des rivières Rouge, Petite Nation et Saumon.

**-Genin B, Chauvin C et Ménard F, 2003.** Cours d'eau et indices biologique pollutions- méthodes- IBGN 2ème édition .Educagri, p69.

-**Ghazali D et Zaid A, 2013.** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain salama-jerri (région de Meknes –Maroc). *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 12, Janvier 2013, pp. 25-36.

-**Grillas P, Gauthier P, Yavercovski N et Perennou C, 2004.** Les mares temporaires méditerranéennes. Tour du Valat, 1.

-**Gouasmia G, Amarouayache M, Frihi H et Hichem M, 2016.** Kara caractérisation physico-chimique de trois lacs salés permanents de la vallée d'oued Righ (sahara septentrional, Algérie nord-est). *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, Vol. 71 (4), 330-341

## H

-**Harrat N et Achour S ,2010.** Pollution physico-chimique des eaux de Barrage de la région d'El Tarf. Impact sur la chloration. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 08, pp. 47-54

-**Hébert S et S Légaré, 2000.** Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, envirodoq n° ENV-2001-0141, rapport n° QE-123, 24 p. et 3 annexes.

## J

-**Jezerky Z, 2007.** hydrogeochemistry of a deep gas-storage cavern,czech republic, *hydrogéology journal*,15,599-614.

-**Journal Officiel de la République Algérienne ,2011.** La qualité de l'eau de consommation humaine .JORA n° 34 du 23maras 2011.p6.

## K

-**Khamar M., Bouya, D et Ronneau C ,2000.** Pollution métallique et organique des eaux et des sédiments d'un cours d'eau marocain par les rejets liquides urbains. *Water Quality Research Journal*, 35(1), 147-161.

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

## L

-**Lavie E, Morabito J et Salatino S E, 2008.** Problèmes de pollution phosphatée de l'eau d'irrigation en zones aval d'oasis: le cas de la quatrième zone agricole irriguée de l'oasis du rio Mendoza, Argentine.In XIII° World Water Congress de 'IWRA (International Water resource Association). Montpellier.

-**Lescot et Péroline, 2017.** Suivi de la qualité de l'eau des rivières Lorette et du Cap Rouge en milieu agricole –Saison 2016. Organisme des bassins versants de la Capitale, 27pages.

-**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.

## M

-**Makhoukh M, Sbaa M, Berrahou A et Clooster M, 2011.** Contribution a 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

-**Marcel M C, 1974.** Les types de pollutions de l'eau. NOROIS, p186-187.

-**Matheus P, 2018.** Les techniques et conditions d'exploitation des mines aurifères. In Annales des Mines-Realites industrielles (No. 4, pp. 10-19). FFE.

-**Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) ,2013.** Critères de qualité de l'eau de surface, 3e édition. Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement. 510 p. et 16 annexes.

-**Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), 2014.** Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA), Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement.

-**Mouni L, Merabet D, Arkoub H et Moussaceb K ,2009.** Etude et caractérisation physico-chimique des eaux de l'oued Soummam (Algérie). Science et changements planétaires/Sécheresse, 20(4), 360-36.

-**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.

-**Murray Ch, 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.

## N

-**Nadem S, El Baghdadi M, Rais J et Barakat A, 2015.** Evaluation de la contamination en métaux lourds des sédiments de l'estuaire de Bou Regreg (Côte atlantique, Maroc). J. Mater. Environ. Sci. 6 (11) 3338-3345.

-**Nouayti N, Khattach D et Hilali M, 2015.** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc) [Assessment of physico-chemical quality of groundwater of the Jurassic aquifers in high basin of

Ziz (Central High Atlas, Morocco)]. *Journal of Materials and Environmental Science*, 6, 1068-1081.

## O

**-Obiri-Danso K, Adonadage M. G et Hogarh J. N, 2011.** Effect of agrochemical use on the drinking water quality of agogo, a tomato growing community in ashanti akim Ghana bull .Enviro contam toxicol 86, 71-77.

**-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.

## P

**-Pinder A M, Halse S A, Mcrae J M, Shiel R J, 2005.** Occurrence of aquatic invertebrates of the wheatbelt region of Western Australia in relation to salinity. *Hydrobiologia* 543, 1–24.

## R

**-Radilla G ,1997.** Contamination des eaux souterraines par des hydrocarbures: expériences de laboratoire, modélisation, interprétation et résolution des problèmes inverses pour l'estimation des propriétés de transport .Doctoral dissertation, Paris, ENSAM.

**-Ramade F, 1998.** Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau. Ed inscience internationale, Paris, 786p.

**-Ramade R ,2002.** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement 2ème édition .DUNOD, p 182.

**-Ramade F, 2007.** Introduction a l'écotoxicologie : fondements et applications. Ed Lavoisier.

**-Rankin J C, Davenport J, 1981.** Animal osmoregulation. New York, NY: Halsted Press.

**-Reggam A, Bouchelaghem H et Houhamdi M, 2015.** Qualité physico-chimique des eaux de l'Oued Seybouse (Nord-Est de l'Algérie): Caractérisation et analyse en composantes principales [Physico-chemical quality of the waters of the Oued Seybouse (Northeastern Algéria): Characterization and principal component analysis)]. *Journal of Materials and Environmental Science*, 6(5), 1417-1425.

**-Rejesk F ,2001.** Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques, Editions Ressources pour l'éducation nationale, pp 63.

**-Rejesk F, 2002.** Analyse des eaux bordeau : centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine, (p180).

-**Richad S, Amoux A et Cerdan P, 1997.** Evolution de la qualité physico-chimique des eaux de la retenue et du tronçon aval depuis le début de la mise en eau du barrage de Petit-Saut. Hydroécol. Appl. Tom 9 Vol.1-2, pp.57-83.

-**Rodier J, 1984.** L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Edition Dunod Paris.

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

-**Rodier J et coll ,2005.** L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer.8 ème édition.Ed. Dunod. Paris.

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

### S

-**Savary P P, 2003.** Guide des analyses de la qualité de l'eau, Edition Territorial, pp 78-101.

### T

-**Tapsoba F, Kere F D, Diarra J, Barry A, Sawadogo-Lingani H, Dianou D et Dicko M H ,2016.** Etude de l'évolution des éléments précurseurs d'eutrophisation des eaux du Barrage n 3 d'Ouagadougou, Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(2), 846-859.

-**Thomas S ,2012.** Méthodes de végétalisation dans la restauration écologique de sites miniers: comparaison entre le Québec et le Pérou. Doctoral dissertation, Université de Sherbrooke.

-**Triplet, 2017.** Dictionnaire encyclopédique de la diversité biologique et de la conservation de la nature, troisième édition.

-**Turin A, 1990.** La pollution des eaux souterraines par les nitrates en Lorraine. In: Revue Géographique de l'Est, tome 30, n°3-4,1990. pp. 257-273.

### V

-**Vittet C ,2011.** Valeurs écologique et économique d'un ancien site minier restauré .Doctoral dissertation. Université de Sherbrooke.

### W

-**Worldwide E L A ,2010.** Guide pour l'évaluation des EIE de projets miniers. Environmental Law Alliance Worldwide édition, Eugene (États-Unis d'Amérique).



**Sites d'internet :**

<http://www.mdipi.gov.dz>

**Google Earth, 2019.** [www. Google Earth.Com](http://www.GoogleEarth.Com)

*Références  
bibliographiques*

# *Annexes*

## Annexe I : Courbes d'étalonnage

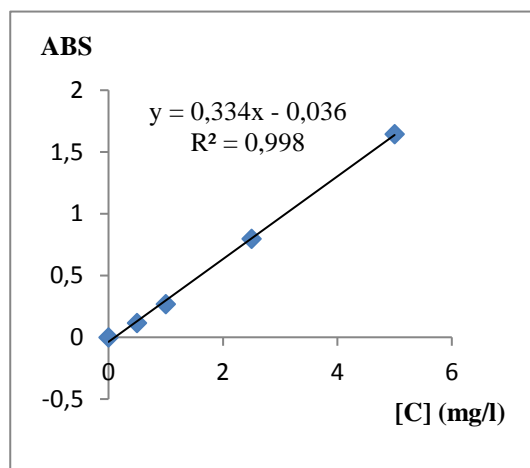


Figure 1: Courbe d'étalonnage des nitrates

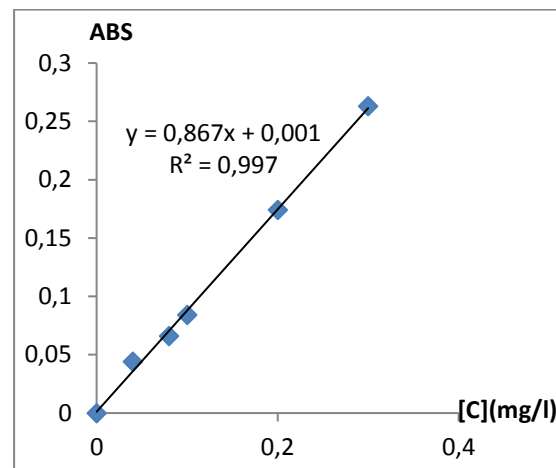


Figure 2: Courbe d'étalonnage des orthophosphates

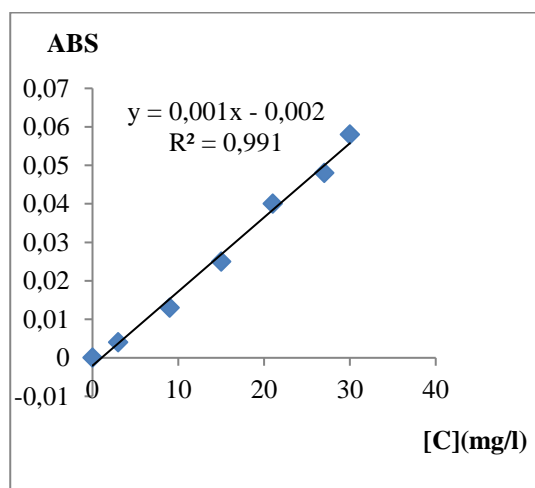


Figure 3: Courbe d'étalonnage des sulfates

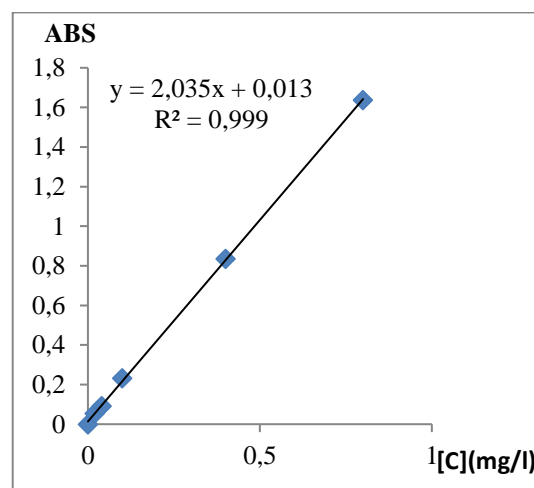


Figure 4: Courbe d'étalonnage des nitrites

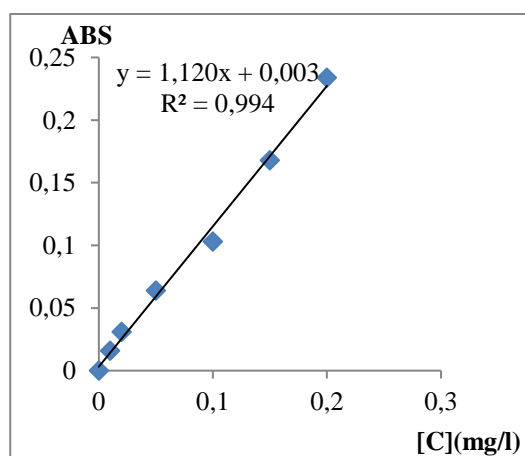


Figure 5 : Courbe d'étalonnage d'ammonium

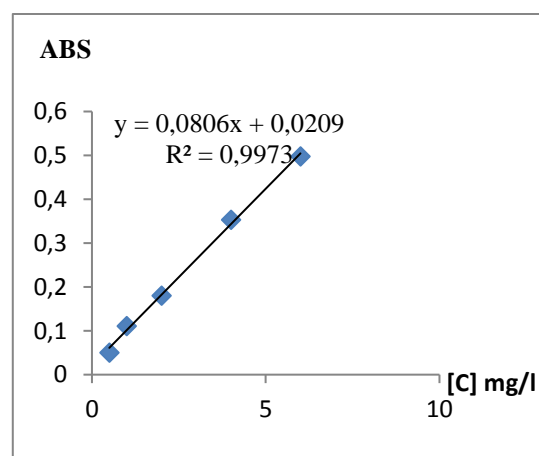


Figure 6: Courbe d'étalonnage du cuivre

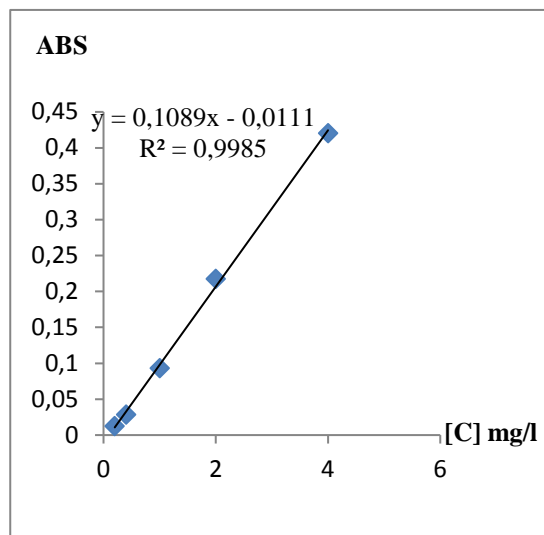


Figure 7 : Courbe d'étalonnage du cadmium

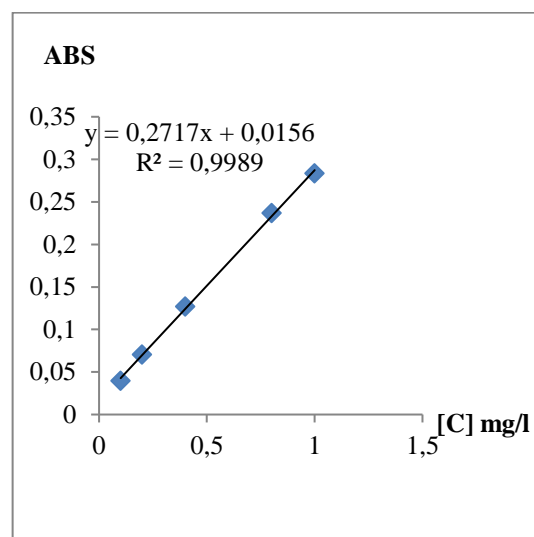


Figure 8 : Courbe d'étalonnage du zinc

**Annexe II : Résultats de l'analyse de la variance et la matrice de corrélation.****Tableau 1: Résultats de l'analyse de la variance : comparaison des valeurs de la température entre les cinq stations**

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	65,243	4	16,311	74,591	,000
Intra-groupes	2,187	10	,219		
Total	67,429	14			

**Tableau 2: Résultats de l'analyse de la variance : comparaison des valeurs du pH entre les cinq stations**

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	31,848	4	7,962	7,356	,005
Intra-groupes	10,825	10	1,082		
Total	42,673	14			

**Tableau 3: Résultats de l'analyse de la variance : comparaison des valeurs de la CE entre les cinq stations**

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	1144,336	4	286,084	161,228	,000
Intra-groupes	17,744	10	1,774		
Total	1162,080	14			

**Tableau 4: Résultats de l'analyse de la variance : comparaison des valeurs d'O2 dissous entre les cinq stations**

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	12,913	4	3,228	,362	,830
Intra-groupes	89,202	10	8,920		
Total	102,115	14			

**Tableau 5: Résultats de l'analyse de la variance : comparaison des valeurs de la salinité entre les cinq stations**

	Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	438,804	4	109,701	212,874	,000
Intra-groupes	5,153	10	,515		
Total	443,957	14			

**Tableau 6: Résultats de l'analyse de la variance : comparaison des valeurs de TDS entre les cinq stations**

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	376,917	4	94,229	222,539	,000
Intra-groupes	4,234	10	,423		
Total	381,151	14			

**Tableau 7: Résultats de l'analyse de la variance : comparaison des valeurs de Chlorure entre les cinq stations**

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	13029,634	4	3257,408	9,973	,002
Intra-groupes	3266,148	10	326,615		
Total	16295,782	14			

**Tableau 8: Résultats de l'analyse de la variance : comparaison des valeurs de sulfate entre les cinq stations**

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	903302,000	4	225825,500	11,367	,001
Intra-groupes	198661,333	10	19866,133		
Total	1101963,333	14			

**Tableau 9: Résultats de l'analyse de la variance : comparaison des valeurs de nitrate entre les cinq stations**

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	615,863	4	153,966	200,702	,000
Intra-groupes	7,671	10	,767		
Total	623,535	14			

**Tableau 10: Résultats de l'analyse de la variance : comparaison des valeurs de nitrite entre les cinq stations**

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	3,186	4	,797	79,931	,000
Intra-groupes	,100	10	,010		
Total	3,286	14			

**Tableau 11: Résultats de l'analyse de la variance : comparaison des valeurs d'orthophosphate entre les cinq stations**

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	,000	4	,000	,012	1,000
Intra-groupes	,000	10	,000		
Total	,000	14			

**Tableau 12: Résultats de l'analyse de la variance : comparaison des valeurs d'ammonium entre les cinq stations**

	Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	,001	4	,000	1,216	,363
Intra-groupes	,003	10	,000		
Total	,004	14			



**Tableau 13: Résultats de l'analyse de la variance : comparaison des valeurs de cadmium entre les cinq stations**

	Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	,022	4	,005	11,121	,001
Intra-groupes	,005	10	,000		
Total	,027	14			

**Tableau 14: Résultats de l'analyse de la variance : comparaison des valeurs de cuivre entre les cinq stations**

	Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	,074	4	,018	2,510	,108
Intra-groupes	,073	10	,007		
Total	,147	14			

**Tableau 15: Résultats de l'analyse de la variance : comparaison des valeurs de Zinc entre les cinq stations**

	Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	1,281	4	,320	900,660	,000
Intra-groupes	,004	10	,000		
Total	1,284	14			

	pH	TDS	T	CE	O2	Sal	NH4+	NO2-	NO3-	PO43-	DBO	SO42-	Cl-	Cd	CU	Zn
pH	1															
TDS	-0,898337	1														
T	0,621291	-0,382574	1													
CE	-0,897481	0,999851	-0,383673	1												
O2	-0,17454	0,520949	-0,086265	0,527998	1											
Sal	-0,893011	0,999911	-0,37483	0,99968	0,527163	1										
NH4+	-0,784649	0,975244	-0,222164	0,974185	0,615422	0,978061	1									
NO2-	-0,301467	-0,12554	-0,5691	-0,132148	-0,763199	-0,134964	-0,298515	1								
NO3-	-0,877392	0,989803	-0,401147	0,992035	0,594511	0,989261	0,960453	-0,186692	1							
PO43-	-0,967668	0,798671	-0,565596	0,799257	0,001507	0,791083	0,655947	0,393491	0,782574	1						
DBO	0,452946	-0,347713	0,928613	-0,349305	-0,359984	-0,343893	-0,25	-0,298515	-0,381833	-0,324358	1					
SO42-	-0,886935	0,999006	-0,342324	0,998641	0,517401	0,99926	0,980868	-0,146652	0,986286	0,788676	-0,307716	1				
Cl-	-0,927853	0,930956	-0,659925	0,928651	0,420643	0,929262	0,868008	0,135889	0,910828	0,804597	-0,621636	0,91694	1			
Cd	-0,705901	0,940248	-0,179908	0,942812	0,747501	0,94319	0,973362	-0,452899	0,956572	0,582279	-0,246606	0,944792	0,797562	1		
CU	-0,823005	0,988338	-0,27517	0,987804	0,597661	0,990222	0,997388	-0,253158	0,977	0,703061	-0,285233	0,991692	0,891102	0,971227	1	
Zn	-0,248558	-0,111594	-0,328174	-0,123058	-0,829345	-0,117643	-0,229626	0,929946	-0,214936	0,320717	-0,06766	-0,11878	0,100833	-0,431335	-0,205242	1

**Schéma 1 : Matrice de corrélation**

<p><b>Thème</b>  <b>Monitoring de l'impact environnemental d'un site minier abandonné sur la qualité des eaux superficielles : cas de l'ancienne mine de Boudoukha (Wilaya de Skikda).</b></p>	
<p><b>Préparé par :</b>  <b>Ayachi Djahida</b>  <b>Roula Meriem</b></p>	<p><b>Date de soutenance : 22-07-2019</b></p>
<p><b>Résumé :</b>  Les mines abandonnées ont entraîné et continuent à engendrer de nombreux problèmes à l'environnement. Les rejets issus de ces mines constituent un danger pour l'environnement, lorsque ceux-ci parviennent à contaminer les eaux superficielles.  Dans ce travail nous étudions la qualité des eaux superficielles de la région de Boudoukha (Wilaya de Skikda). Pour atteindre cet objectif un prélèvement des échantillons le 18 mai 2019 a été réalisé, cinq stations ont été choisies le long de l'Oued Boudoukha et jusqu'au barrage de Boussiaba.  Les paramètres physico-chimiques de l'eau (T°, pH, CE, O2 dissous, TDS et Salinité) ont été mesurés <i>in-situ</i>, les éléments minéraux major (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), les paramètres de la pollution organique (DBO, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) et les métaux lourds (Cd, Cu, Zn) ont été analysés au laboratoire de Toxicologie (Université de Jijel), en utilisant les méthodes de Rodier.  Les résultats obtenus montrent que la plupart des teneurs en ces éléments ne dépassent pas la norme Algérienne des eaux potable. Les analyses ont permis de mettre en relief les valeurs élevées de la CE dont le maximum est de 27.13 ms/cm et une contamination des eaux par les nitrites (max ; 1.18mg/l) et par le Cd. Ces résultats dévoilent un risque de contamination sur le milieu aquatique dans certaines stations.  <b>Mots clés :</b> qualité des eaux, mine abandonnée, impacts environnementaux, Boudoukha.</p>	
<p><b>Abstract:</b>  Abandoned mines have caused and continue to cause many environmental problems. Discharges from these mines are a danger to the environment when they are able to contaminate the surface waters.  In this work we study the quality of the surface waters of the Boudoukha region (Wilaya of Skikda).  To achieve this objective, samples were collected on May 18, 2019 from five stations; Oued Boudoukha, Oued under bridge, Oued after the second confluence and the two other dam stations of Boussiaba.  The physico-chemical parameters of the water (T °, pH, CE, dissolved O2, TDS and Salinity) were measured in-situ, the major mineral elements (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), parameters of the organic pollution (BOD, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) and heavy metals (Cd, Cu, Zn) were analyzed in the Toxicology laboratory (Université of Jijel) using Rodier's methods.  The results obtained show that most of the contents in these elements do not exceed the Algerian standards of water purification, but they constitute a risk of contamination on the aquatic environment in certain stations.  <b>Key words:</b> water quality, superficial, abandoned mine, impact, Boudoukha.</p>	
<p><b>ملخص:</b>  تسببت المناجم المهجورة وما زالت تسبب الكثير من المشكلات البيئية. تشكل عمليات التصريف من هذه المناجم خطراً على البيئة عندما تكون قادرة على تلويث المياه السطحية.  في هذا العمل، ندرس نوعية المياه السطحية لمنطقة بودوخة (ولاية سكيكدة). لتحقيق هذا الهدف، تم جمع العينات في 18 ماي 2019 من خمس محطات؛ وادي بودوخة، وادي تحت الجسر، وادي بعد النقاء الثانية والمحطتين الأخرين في سد بوسيايا. تم قياس المعلمات الفيزيائية والكيميائية للمياه (T°، درجة الحموضة، CE، O<sub>2</sub> الذائب، TDS، والملوحة) في الموقع، والعناصر المعدنية الرئيسية (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>، Cl<sup>-</sup>)، عناصر التلوث العضوي (BOD، NO<sub>3</sub><sup>-</sup>، NO<sub>2</sub><sup>-</sup>، PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>، NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) والمعادن الثقيلة (Cd، Cu، Zn) في مختبر السموم (جامعة جيجل) باستخدام طرق Rodier.  أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن معظم محتويات هذه العناصر لا تتعدى المعايير الجزائية لتنقية المياه، ولكنها تشكل خطراً للتلوث على البيئة المائية في بعض المحطات.  <b>الكلمات المفتاحية:</b> جودة المياه، السطحية، الألغام المهجورة، الأثر، بودوخة.</p>	