الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى-جيجل

Université Med-Seddik Benyahia –Jijel

جامعة محمد الصديق بن يحيى
كلية علوم الطبيعة و الحياة
المكتبة
رقم الجرد : .....2399.....

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences de l'Environnement et Sciences Agronomiques

كلية علوم الطبيعة و الحياة

قسم علوم المحيط و العلوم الفلاحية

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Biologie**

Option: Toxicologie de l'environnement

Thème :

Estimation de la qualité physico-chimique des eaux de surface au voisinage d'une mine abandonnée: cas de la mine de Boudoukha

Présenté par :

HIMROUCHE Kawther

MASMOUDI Hanane

Jury de soutenance:

Présidente: Mme KHALED-KHODJA S.

Examinateur : Mr KRIKA A.

Encadreur : Mme BENCHARIF N.

Session: Juin 2016

Numéro d'ordre:.....

Remerciements

*Avant tous nous remercions **ALLAH** le tout puissant de nous avoir donné la foi et de nous avoir permis d'atteindre l'une de nos réussites les plus désirées.*

Nous remercions vivement Mme Bencharif N, notre directrice de mémoire dont la disponibilité, le savoir faire et le soutien ne nous ont jamais fait défaut. Nos gratitudes pour la confiance qu'elle nous a accordée, nous espérons qu'elle est satisfaite du résultat.

Notre reconnaissance s'adresse également aux membres de jury : Mme Khaled-khodja S. enseignante à l'université de Jijel pour l'honneur qu'elle nous a fait de présider ce jury. Nous remercions également Mr Krika A. enseignant à l'Université de Jijel qui nous a fait l'honneur de participer à ce jury et de juger notre travail.

Nous remercions aussi tous les ingénieurs de laboratoire de l'écotoxicologie de l'université de Jijel pour leur aide.

Nous saisissons l'opportunité pour remercier l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation.

En fin, nous remercions tous ceux qui ont participés de prés ou de loin à réaliser ce travail.

Hanane & Kawther

Dédicace

A celle qui a consacré sa vie et souffert pour veiller à mon bien être

A ma chère mère

A Mon cher père

A mes chères sœurs :Kahina, Karima, Sabah et Naima

A mes chers frères : Mouad et Adel

Et à toute ma famille

A mes chères amies :Kawther, Amina, Nadira, Fatima, Fahima,

Houda, Hayet, Kaltoum, Saida, Moufida…

Pour votre patience, votre soutien, pour tout les bons moments passés,

ceux qui restent à venir.....

Hanane

Dédicace

Je dédie ce travail à:

Ceux qui ont consacré leur vie pour veiller à mon bien être, à la source de ma réussite, à ma chère mère et mon cher père pour leurs sacrifices.

Mon cher frère : Atman

Et à toute ma famille

Mes chères amies : Amina, Nadira, Moufida, Houda, Fatima, Hayet, Kaltoum, Saida, Samia, Hanane…

Pour votre patience, votre soutien, pour tout les bons moments passés, ceux qui restent à venir.....

Kawther

Liste des abréviations v
Liste des figures vii
Liste des tableaux viii
Introduction 01

Chapitre I. Synthèse bibliographique

I. Les Cours d'eaux.....03
I.1. Les différents types de cours d'eau.....03
I.1.1. Fleuve 03
I.1.2. Rivière 03
I.1.3. Oued.....03
I.1.4. Estuaire 03
I.1.5. Ruisseau.....04
I.1.6. Canal.....04
II. Pollution des cours d'eaux.....04
II.1. Définition 04
II.2. Origine des polluants.....05
II.2.1. La pollution domestique.....05
II.2.2. La pollution agricole.....05
II.2.3. La pollution industrielle.....05
II.2.4. Les phénomènes naturels.....06
II.3. Qualité des cours d'eaux.....06
II.3.1. Principaux paramètres de la qualité des eaux 06
II.3.1.1. Paramètres physico-chimiques.....06
II.3.1.1.1. Température (T) 06
II.3.1.1.2. Potentiel hydrogène (pH).....06
II.3.1.1.3. Conductivité électrique (CE).....07
II.3.1.2. Eléments minéraux majeurs.....07
II.3.1.2.1. Chlorures (Cl^-).....07
II.3.1.2.2. Sulfates (SO_4^{2-}).....07
II.3.1.3. Paramètres de pollution organique.....08
II.3.1.3.1. Demande biochimique en oxygène (DBO_5).....08
II.3.1.3.2. Demande chimique en oxygène (DCO) 08
II.3.1.3.3. Composés azotés.....08

II.3.1.3.3.1. Ammonium (NH_4^+)……08
II.3.1.3.3.2. Nitrates (NO_3^-)……09
II.3.1.3.3.3. Nitrites (NO_2^-)……09
II.3.1.3.4. Phosphates (PO_4^{-2}) ……09
II.3.2. Système d'évaluation de la qualité de l'eau « SEQ-Eau »… ……09
II.3.2.1. Grilles d'évaluation de la qualité des cours d'eaux ……10
II.4. Le drainage minier acide …… 12

Chapitre II. Matériel et méthodes

I. Présentation de la zone d'étude ……14
I.1. Présentation géographique de la Kabylie de Collo……14
I.2. Présentation de la région de Boudoukha ……14
I.2.1. Situation géographique ……14
I.2.2. Réseau hydrographique……15
I.2.3. Climat et végétation……15
I.2.4. Historique des travaux miniers de la région de Boudoukha ……15
II. Echantillonnage et technique de prélèvement……16
II.1. Choix des stations de prélèvement et leur situation géographique……16
II.2. Prélèvement des échantillons et conservation…… 17
II.2.1. Flaconnage des échantillons ……18
II.2.2. Transport et conservation des échantillons……18
III. Méthodes de mesures et d'analyses ……18
III.1. Mesures sur terrain ……18
III.2. Analyse au laboratoire ……18
III.2.1. Dosage des chlorures (Cl^-) ……19
III.2.2. Dosage des sulfates (SO_4^{2-}) ……19
III.2.3. Demande biochimique en oxygène (DBO_5) ……19
III.2.4. Demande chimique en oxygène (DCO) ……19
III.2.5. Dosage des ammoniums (NH_4^+) ……19
III.2.6. Dosage des nitrates (NO_3^-) ……19
III.2.7. Dosage des nitrites (NO_2^-)…… 20
III.2.8. Dosage des orthophosphates (PO_4^{-3}) ……20
IV. Analyse statistique ……20

Chapitre III. Résultats et discussion

I. Principaux paramètres de la qualité des eaux 21
I.1. Paramètres physico-chimiques de l'eau.....21
I.1.1. Température (T) 21
I.1.2. Potentiel Hydrogène (pH).....22
I.1.3. Conductivité électrique (CE).....23
I.2. Eléments minéraux majeurs.....25
I.2.1. Chlorures (Cl^-) 25
I.2.2. Sulfates (SO_4^{2-}).....26
I.3. Paramètres de la pollution organique.....27
I.3.1. Demande biochimique en oxygène (DBO_5) 27
I.3.2. Demande chimique en oxygène (DCO) 28
I.3.3. Composés azotés.....29
I.3.3.1. Ammonium (NH_4^+) 29
I.3.3.2. Nitrates (NO_3^-).....30
I.3.3.3. Nitrites (NO_2^-).....31
I.3.3.4. Orthophosphates (PO_4^{-3}).....32
Conclusion et perspectives.....34
Références bibliographiques.....36
Annexes

Liste des abréviations

ANOVA: Analyse de la variance

As : Arsenic

CE: Conductivité Electrique

CIT : Centre d'information topographique

Cl^- : Chlorure

DBO_5 : Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours

DCO : Demande chimique en oxygène

DMA : Le drainage minier acide

E.R.E.M : Etudes et Réalisation d'Ensembles Mécaniques

ETM : Eléments Traces Métalliques

Fe : Fer

FeS_2 : pyrite

FeSO4 : Sulfure de Fer

g/l : gramme par litre

g/mol : gramme par mol

Hg: mercure

H_2O : eau

H_3PO_4: Acide phosphorique

mg/Kg : Milligramme par kilogramme

Mg d'O_2/l : Milligramme d'oxygène par litre

mg/l : Milligramme par litre

µg/l : Microgramme par litre

µS/cm : Micro semences par centimètre

mS/cm : Milli semences par centimètre

NPA : Norme provisoire algérienne

NH_3 : Ammoniac

NH_4^+: Ammonium

NH_2Cl: Monochloramine

NO_2^- : Nitrites

NO_3^- : Nitrates

PbS : Sulfure de plomb / la galène

pH: Potentiel d'hydrogène

PO_4^{-2} : Phosphates

PO_4^{-3}: Orthophosphates

ppm : partie par million

SAA: Spectrophotométrie d'Absorption Atomique

SEQ- Eau : Système d'évaluation de la qualité des cours d'eau

SO_4^{2-} : Sulfate

ZnS : Blende

$Zn(H_2O)^{2+}$: ions hydraté de zinc

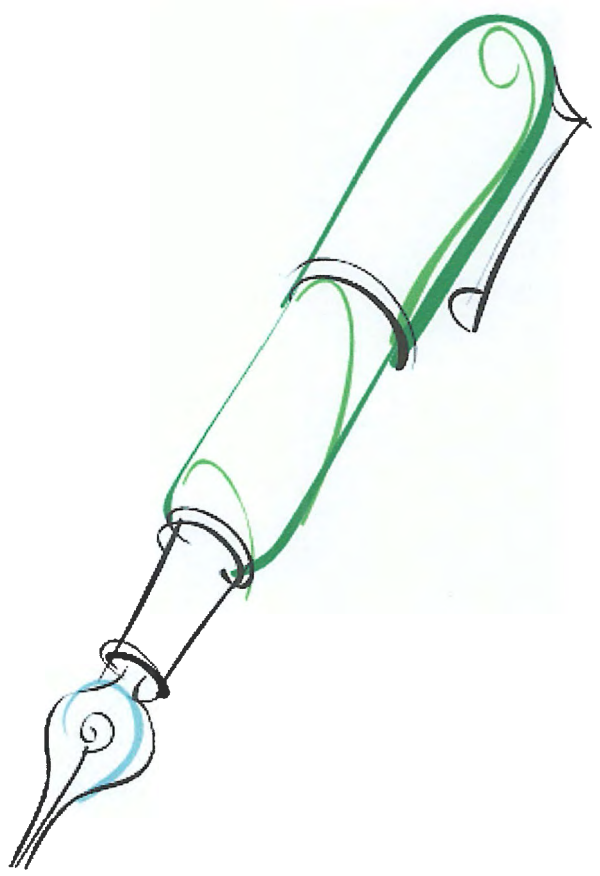
Liste des figures

Figure 01 : Les différents types de cours d'eau.....04
Figure 02 : photo satellite de la région de Boudoukha.....14
Figure 03 : Situation géographique des stations de prélèvement.....16
Figure 04 : les stations de prélèvements choisies 17
Figure 05 : Variations spatiales des températures des eaux analysées 21
Figure 06: Variations spatiales du pH des eaux analysées 22
Figure 07 : Variations spatiales de la conductivité électrique des eaux analysées..... 24
Figure 08 : variations spatiales des teneurs en chlorures dans les eaux analysées..... 25
Figure 09 : variations spatiales des teneurs en sulfates dans les eaux analysées 26
Figure 10 : variations spatiales de la DBO_5 dans les eaux analysées..... 28
Figure 11 : variations spatiales de la DCO dans les eaux analysées 28
Figure 12 : variations spatiales des teneurs d'ammonium dans les eaux analysées 29
Figure 13 : variations spatiales des teneurs en nitrates dans les eaux analysées..... 30
Figure 14 : variations spatiales des teneurs en nitrites dans les eaux analysées 31
Figure 15 : variations spatiales des teneurs en orthophosphates dans les eaux analysées 32

Liste des tableaux

Tableau 01 : Classes d'aptitudes à la biologie……..10
Tableau 02 : Classes d'aptitudes à la production d'eau potable……...…11
Tableau 03 : Classe d'aptitude à l'usage agricole « Irrigation »……...…11
Tableau 04 : Classe à d'aptitude à l'abreuvage du bétail……..…..11
Tableau 05 : Localisation des stations de prélèvement……...…..17
Tableau 06 : Variations spatiales des paramètres physiques……...……...…..21
Tableau 07 : Variations spatiales des éléments minéraux majeurs……...…25
Tableau 08 : Variations spatiales des paramètres de pollution organique……..……27

Introduction



جامعة محمد الصديق بن يحيى
المكتبة الكلية
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Le problème de la pollution des eaux représente sans aucun doute un des aspects les plus inquiétants de la crise globale de l'environnement. En effet à la différence de divers phénomènes de pollution qui ne constituent qu'une menace potentielle susceptible d'affecter à l'avenir les activités humaines, la crise de l'eau sévit déjà depuis longtemps avec une gravité sans cesse accrue, affectant aussi bien les pays industrialisés que ceux du tiers monde (**Ramade, 1998).**

En Algérie l'écosystème aquatique est de plus en plus menacé par les différentes sources de pollution qui risquent de diminuer sa qualité. Parmi ces dernières, nous citons l'activité minière. Le présent travail rapporte une étude effectuée sur les eaux de surface au voisinage de l'ancienne mine de Boudoukha qui a connu une exploitation intense entre 1910 et 1946, et qui est actuellement abandonnée sans réhabilitation.

Au cours de cette période, la mine avait produit des résidus miniers et des stériles riches en sulfures, déposés à la surface du sol. Ces différents produits stockés initialement à l'état humide reçoivent aussi des apports en pluies. Le phénomène de formation du drainage minier acide (DMA) s'enclenche alors par suintement ou ruissellement sur le lieu de stockage. Ce phénomène pourrait être une source de pollution des eaux de surface et souterraines. Il pourrait avoir aussi un impact environnemental sur la population riveraine, la faune et la flore. Le drainage minier acide a causé une nuisance paysagère qui se reflète par les dépôts de couleur rouille.

L'objectif de cette étude consiste dans un premier temps à l'éstimation de la qualité physico-chimique des eaux de surface au voisinage de l'ancienne mine de Boudoukha. Dans un deuxième temps classer l'eau selon les différents paramètres de qualité à l'aide d'un système représentatif qui est le Système d'Evaluation de la Qualité des Eaux (SEQ-Eau).

Ces objectifs ont été développés dans ce manuscrit qui est scindé en trois chapitres :

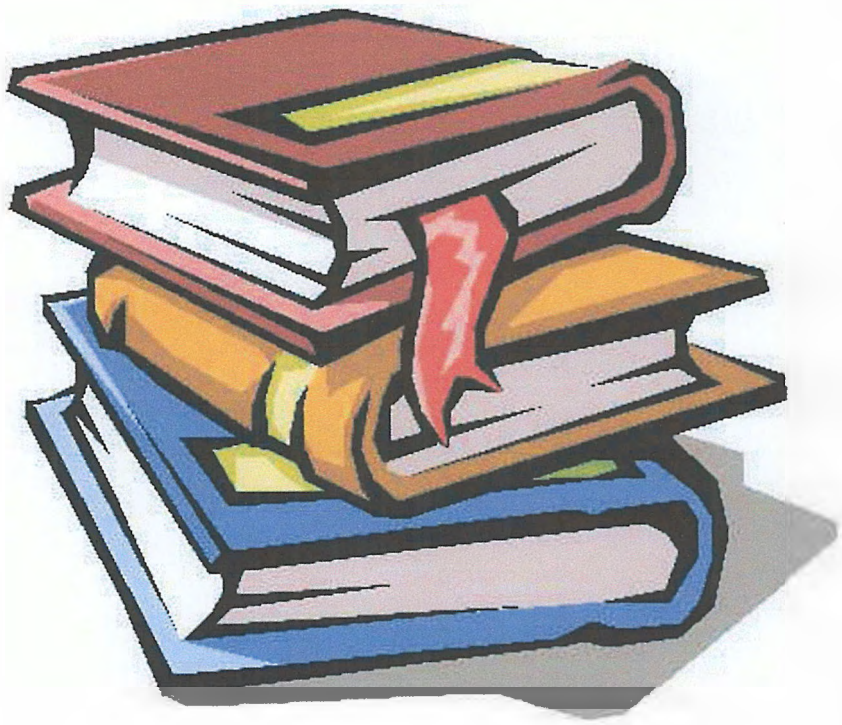
Le chapitre I repose sur une "**synthèse bibliographique**" qui ne prétend pas être exhaustive, mais qui vise à donner un aperçu sur les cours d'eaux (définition et les types des cours d'eaux), la pollution des eaux (définition, les différentes origines…), la pollution des eaux par les métaux lourds (définition, origines…) et les métaux lourds étudiés.

Le chapitre II, "**Matériel et Méthodes**", traite la description du site d'étude, la technique d'échantillonnage et les méthodes utilisées pour le dosage des divers paramètres physico-chimiques.

Le chapitre III, "**Résultats et discussion**" se rapporte aux résultats obtenus, leurs interprétations et leur discussion.

Le travail sera clôturé par une conclusion et d'éventuelles recommandations.

Chapitre I.Synthèse bibliographique



I. Les Cours d'eaux

Les cours d'eau sont parmi les écosystèmes les plus complexes et dynamiques (**Dynesius et Nilson, 1994**). Ils peuvent être considérés comme des « collecteurs », alimentés par le ruissellement des eaux superficielles et la résurgence des eaux des nappes (transit souterrain), provenant essentiellement des précipitations (sous forme de pluie, neige…) ou de la fonte des glaciers **(Genin et *al.*, 2003).**

I.1. Les différents types de cours d'eau

Un cours d'eau peut porter divers noms en lien avec ses dimensions, et certaines autres caractéristiques physiques (figure 01) :

I.1.1. Fleuve

Cours d'eau de section et de débit importants et d'une faible pente. L'ensemble d'un fleuve constitue un écosystème lotique. Celui-ci correspond à l'ensemble du cours d'eau proprement dit (biotope aquatique d'eau courante) qui s'étale depuis la zone des sources jusqu'à son débouché dans la mer **(Ramade, 2008).**

I.1.2. Rivière

En hydrologie, ce terme désigne un cours d'eau moyennement important, à écoulement continu ou intermittent, suivant un tracé défini et se jetant dans un autre cours d'eau, un lac, une mer, une dépression ou un marais. En géographie physique, ce terme désigne un cours d'eau faiblement ou moyennement important, recevant de l'eau d'autres cours d'eau tributaires, et se jetant dans un cours d'eau de plus grande importance **(Fischesser et Dupuis-Tate, 2003).**

I.1.3. Oued

Terme d'origine arabe désignant un cours d'eau temporaire dans les régions arides ou semi-arides. Son écoulement dépend des précipitations et il peut rester à sec pendant de très longues périodes **(Brunet, 1993).**

I.1.4. Estuaire

Zone extrême du cours inférieur d'un fleuve où ce dernier se jette dans la mer **(Ramade, 2008).**

I.1.5. Ruisseau

Cours d'eau de faible taille situé dans l'étage du rhithron. Le courant est encore assez intense dans de tels biotopes dont les eaux sont en conséquence bien oxygénées **(Ramade, 2008).**

I.1.6. Canal

Cours d'eau artificiel permettant l'écoulement de l'eau ou le lien entre des cours d'eau naturels ou des plans d'eau. Le canal est souvent une partie d'un cours d'eau naturel redressé et endigué **(CIT, 2004 in Chaguer, 2013).**

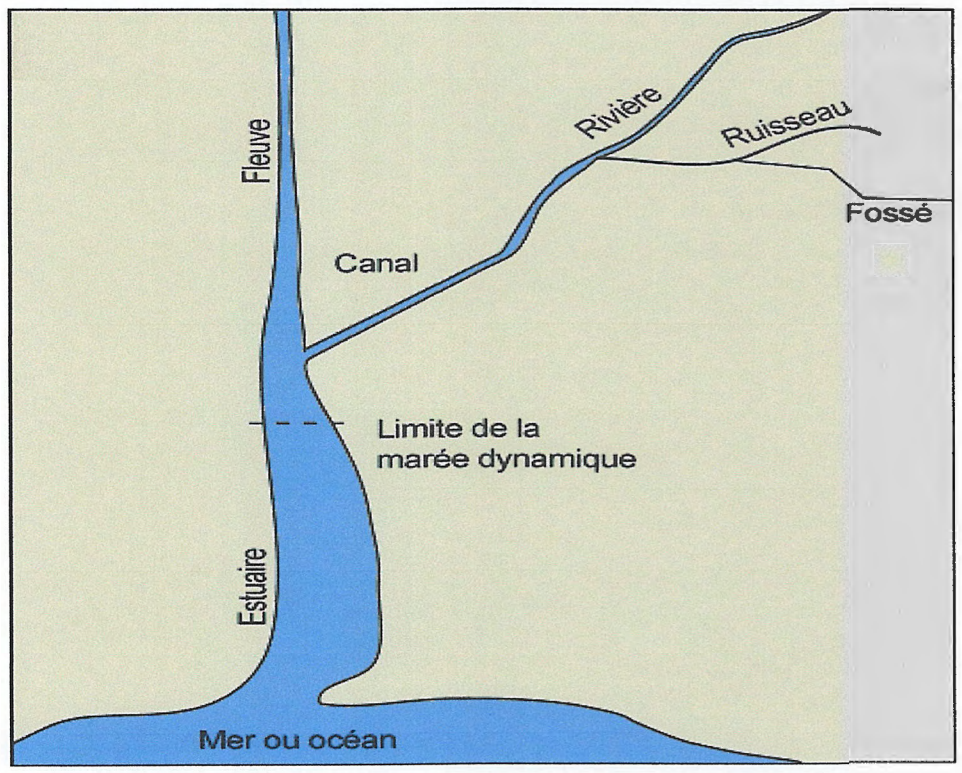


Figure 01 : Les différents types de cours d'eau **(CIT, 2004 in Chaguer, 2013)**

II. Pollution des cours d'eaux

II.1. Définition

Les pollutions sont « des déversements, écoulements, rejets, dépôts directs ou indirects de matières de toute nature et plus généralement tout fait susceptible de provoquer ou d'accroître la dégradation des eaux en modifiant leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques ou bactériologiques, qu'il s'agit d'eaux superficielles, souterraines ou des eaux de la mer, dans la limite des eaux territoriales » **(Faurie et *al.*, 2012).**

II.2. Origine des polluants

Suivant l'origine des substances polluantes, on peut distinguer :

II.2.1. La pollution domestique

D'une manière générale la pollution toxique d'origine domestique peut provenir :

• Des activités domestiques proprement dites avec l'utilisation par les ménages des composés pouvant présenter une toxicité, et rejeter dans les réseaux d'assainissement ;

• Des activités raccordées sur les réseaux d'assainissement : industriels, artisanat, activités de service et de commerce, laboratoires divers, établissements de santé ;

• De la toxicité induite par la collecte des eaux pluviales **(Boucheseiche et *al.*, 2002).**

Les effluents (rejets des eaux usées) contiennent : des germes fécaux ; des sels minéraux (d'azote et de potassium) ; des détergents et des fortes teneurs en matière organique **(Genin et *al.*, 2003; Faurie et *al.*, 2006).**

II.2.2. La pollution agricole

L'activité agricole modifie fortement la qualité et la dynamique de l'eau dans le milieu. Elle est caractérisé principalement par :

• De fortes teneurs en sels minéraux (azote, phosphore, potassium) provenant des engrais et des effluents d'élevage (fumier, lisière) ;

• La présence des produits chimiques de traitement des cultures (produits phytosanitaires) ;

• La présence épisodique dans les effluents d'élevage des produits sanitaires (bactéricides, antibiotiques) **(Genin et *al.*, 2003).**

II.2.3. La pollution industrielle

Elle est caractérisée par une très grande diversité, suivant l'utilisation de l'eau dans les processus (refroidissement, lavage, extraction, mise en solution, etc.) et l'activité de l'usine (chimie, traitement de surface, agroalimentaire, etc.). On peut donc retrouver dans l'eau, qui est un bon solvant, tous les sous-produits possibles de l'activité humaine **(Genin et *al.*, 2003).** On trouve :

• Des graisses et des matières organiques ;

• Des hydrocarbures ;

• Des métaux ;

- Des produits chimiques divers ;
- Des matières radioactives ;
- De l'eau chaude… **(Genin et *al.*, 2003; Faurie et *al.*, 2012).**

II.2.4. Les phénomènes naturels

Les éruptions volcaniques, les hydrocarbures sous-marins, certains filons géologiques des métaux lourds, des sources thermo-minérales…peuvent être des causes de pollution **(Faurie et *al.*, 2012).**

II.3. Qualité des cours d'eaux

La qualité d'une eau est caractérisée par les diverses substances qu'elle contient, leur quantité et leur effet sur l'écosystème et sur l'être humain. La concentration de ces différentes substances détermine la qualité d'une eau afin de savoir si elle convient à un usage particulier.

La qualité de l'eau correspond à un ensemble de critères physico-chimiques et biologiques qui définissent leur degré de pureté et en conséquence, leur aptitude aux divers usages alimentaires, domestiques, agricoles ou industriels **(Ramade, 1998)**.

II.3.1. Principaux paramètres de la qualité des eaux

II.3.1.1. Paramètres physico-chimiques

II.3.1.1.1. Température (°C)

La température représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés des êtres vivants dans la biosphère **(Ramade, 2003).**

Selon **Rodier, (2005)** il est important de connaitre la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, etc.

II.3.1.1.2. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau, c'est-à-dire de la concentration en ions hydrogène (H_2). Il traduit la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité **(De villers et *al.*, 2005)**. Généralement l'influence du pH se fait également ressentir

par le rôle qu'il exerce sur les équilibres ioniques des autres éléments en augmentant ou en diminuant leur toxicité **(Gaujous, 1995).**

Dans les eaux naturelles le pH dépend de l'origine de celle-ci et de la nature des terrains traversés, les eaux issues des massifs cristallins auront un pH plutôt acide, à l'inverse, des eaux provenant des régions calcaires auront un pH plutôt basique **(Savary, 2010).**

II.3.1.1.3. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique **(Rodier, 2005).** Elle est due à la présence dans l'eau des ions qui sont mobiles dans un champ électrique, et dépend aussi de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations **(Rejesk, 2000).**

La conductivité électrique permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau **(Rodier, 1996).**

II.3.1.2. Eléments minéraux majeurs

II.3.1.2.1. Chlorures (Cl^-)

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Ainsi, les eaux courantes exemptes de pollution ont une teneur généralement inférieure à 25 mg/L, mais dans certaines régions, la traversée de marnes salifères peut conduire à des teneurs exceptionnelles de 1000 mg/L. Le grand inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils transmettent à l'eau à partir de 250 mg/L, surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium **(Rodier, 2005).**

II.3.1.2.2. Sulfates (SO_4^{2-})

Les sulfates constituent la forme biogéochimique la plus commune de soufre dans les milieux terrestres, dans les eaux continentales ou océaniques **(Ramade, 2002).** Les ions sulfates sont liés aux cations majeurs : calcium, magnésium et sodium. La concentration en sulfate dans les eaux naturelles est très variable mais ne dépasse généralement pas le gramme par litre **(Savary, 2010).**

Les sulfates peuvent entraîner un goût perceptible au niveau de l'eau distribuée pour des concentrations de l'ordre de 500 mg/L (seuil gustatif). Une teneur en sulfates élevée rend également l'eau agressive, ce qui accentue la corrosion rapide des équipements

de distribution. En concentration très importante, des risques pour la santé des animaux apparaissent **(Nechad et *al.*, 2014).**

II.3.1.3. Paramètres de la pollution organique

II.3.1.3.1. Demande biochimique en oxygène (DBO_5)

C'est la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation par les micro-organismes de la matière organique biodégradable contenue dans l'eau **(Grosclaude, 1999).** La DBO_5 s'exprime en milligramme par jour et par habitant et on la mesure dans les tests normalisés après 5 jours d'oxydation de matière organique, à 20°C et à l'obscurité **(Ramade, 2000; Genin et *al.*, 2003).**

La DBO_5 est utilisé pour établir un classement qualitatif des eaux et définir l'altération du milieu par les matières organiques biodégradables **(Rodier et *al.*, 2009).** Plus la DBO_5 est élevée, plus la quantité de matière organique présente dans l'échantillon est élevée **(De Villers et *al.*, 2005).**

II.3.1.3.2. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation par voie chimique, effectuée à l'aide d'un oxydant puissant, des composés organiques présents dans l'eau.

Elle permet de mesurer la teneur en matières organiques totales (excepté quelques composés qui ne sont pas dégradés), y compris celles qui ne sont pas dégradables par les bactéries. Il s'agit donc d'un paramètre important permettant de caractériser la pollution globale d'une eau par des composés organiques **(De Villers et *al.*, 2005).**

II.3.1.3.3. Composés azotés

II.3.1.3.3.1. Ammonium (NH_4^+)

Désigné sous le terme « d'azote ammoniacal », des formes ionisées (ion ammonium, NH_4^+) et non ionisées (gaz ammoniac, NH_3). L'azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique. Il constitue un des maillons du cycle de l'azote. L'ammoniac est un gaz soluble dans l'eau, mais suivant les conditions du pH, il se transforme soit en un composé non combiné, soit sous forme ionisée. L'azote ammoniacal des eaux superficielles peut avoir pour origine naturelle de la décomposition des déchets végétaux et animaux **(Savary, 2010).**

II.3.1.3.3.2. Nitrates (NO_3^-)

Sels minéraux de l'acide nitrique, les nitrates sont des éléments minéraux nutritifs tant pour les organismes autotrophes terrestres qu'aquatiques **(Ramade, 1998)**. Les nitrates constituent le stade final d'oxydation de l'azote organique. Ils sont abondamment répandus dans les sols, dans la plupart des eaux, et dans les plantes où ils sont nécessaires à la synthèse des végétaux **(Savary, 2010).**

II.3.1.3.3.3. Nitrites (NO_2^-)

Sels de l'acide nitreux (ion NO_2^-), les nitrites se forment lorsque les conditions sont réductrices. Ce sont des molécules intermédiaires qui apparaissent dans les sédiments et les eaux lors de la dénitrification sous l'action des bactéries par réduction de l'ion nitrate **(Ramade, 2000).**

Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composées azotées. Ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniaque et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque, soit à la réduction des nitrates **(Rejesk, 2000).**

II.3.1.3.4. Phosphates (PO_4^{-2})

Le phosphore est présent dans les eaux sous forme de sels minéraux (ortho et polyphosphates) et/ou sous forme organique d'origine biologique **(Bechac et *al.*, 1983 ; Cardot, 1999).** Sous l'action des micro-organismes, le phosphore organique et les polyphosphates peuvent être hydrolysés plus ou moins rapidement en orthophosphates **(Bechac et *al.*, 1983).**

Les ions phosphates contenus dans les eaux de surface ou de profondeur peuvent être d'origine naturelle (produit de décomposition de la matière organique et lessivage des minéraux). Leur présence dans ces eaux est essentiellement due aux rejets industriels (agro-alimentaire, laveries…), domestiques (polyphosphates des détergents) ou agricoles (le lessivage de terres cultivées renfermant des engrais phosphatés) **(Savary, 2010).**

II.3.2. Système d'évaluation de la qualité de l'eau « SEQ-Eau »

Le Système d'évaluation de la qualité de l'eau, ou SEQ-Eau, est un outil pour évaluer la qualité des eaux, à partir d'une grille qui associe une série des paramètres physico-chimiques, bactériologiques et hydrobiologiques, des valeurs seuils déterminant cinq classes de qualité représentées par des couleurs de la manière suivante :

- Couleur bleue : classe de qualité excellente, absence de pollution ;
- Couleur verte : classe de qualité bonne, pollution modérée ;
- Couleur jaune : classe de qualité passable, pollution nette ;
- Couleur orange : classe de qualité mauvaise, pollution importante ;
- Couleur rouge : classe de qualité très mauvaise, pollution excessive **(Genin et *al.*, 2003).**

II.3.2.1. Grilles d'évaluation de la qualité des cours d'eaux

Tableau 01 : Classes d'aptitudes à la biologie **(MEDD et Agence de l'eau, 2003)**

Classe d'aptitude →	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
MATIERES ORGANIQUES ET OXYDABLES					
DBO_5 (mg/l O2)	3	6	10	25	
DCO (mg/l O2)	20	30	40	80	
NH_4^+ (mg/l NH4)	0,5	1,5	4	8	
MATIERES AZOTEES HORS NITRATES					
NH_4^+ (mg/l NH4)	0,1	0,5	2	5	
NO_2^- (mg/l NO2)	0,03	0,3	0 ,5	1	
NITRATES					
Nitrates (mg/l NO_3)	2				
MATIERES PHOSPHOREES					
PO_4^{3-} (mg/l PO4)	0,1	0,5	1	2	
TEMPERATURE					
Température (°C)					
1ère catégorie piscicole	20	21,5	25	28	
2nde catégorie piscicole	24	25,5	27	28	
ACIDIFICATION					
pH min	6,5	6,0	5,5	4,5	
MAX	8,2	9	9,5	10	

Tableau 02 : Classes d'aptitudes à la production d'eau potable **(MEDD et Agence de l'eau, 2003)**

Classe d'aptitude →	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
MATIERES ORGANIQUES ET OXYDABLES					
DBO5 (mg O2/l)	3		10	20	
DCO (mg O2/l)	6		20	40	
NH4 + (mg/l)	0,5		1,5	4	
NITRATES					
Nitrates (mg/l)	50				
ACIDIFICATION					
pH min	6,5				
MAX	9,5				
MINERALISATION					
Conductivité (µS/cm) min	180				
MAX	2500	3000	3500	4000	
Chlorures (mg/l)	200				
Sulfates (mg/l)	250				

Tableau 03 : Classe d'aptitude à un usage agricole « Irrigation »

(MEDD et Agence de l'eau, 2003)

Classe d'aptitude →	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
MINERALISATION					
Chlorures (mg/l)	180	360	700		

Tableau 04 : Classe à l'aptitude d'abreuvage du bétail **(MEDD et Agence de l'eau, 2003)**

Classe d'aptitude →	Bleu	Vert	Rouge
MATIERES AZOTEES HORS NITRATES			
NO2- (mg/l)	0,1	30	
NITRATES			
Nitrates (mg/l)	50	450	

MINERALISATION			
Sulfates (mg/l)	**250**	**1000**	

III.4. Le drainage minier acide

Les mines abandonnées sans réhabilitation constituent assurément pour leur part des sources de contamination et de nuisance pour l'environnement. Les traitements d'extraction et séparation métallurgiques, exposent le minerai à des conditions physico-chimiques tout à fait différentes de celles de la roche. De plus, la construction de galeries dans la masse rocheuse crée une exposition à l'air du gisement différente de l'exposition naturelle. Les dépôts de déchets miniers en contact libre avec l'environnement, génère un grand changement de conditions de stabilité de ces substances chimiques **(Custer, 2003; Price, 2003).**

Ce changement produit en général une oxydation des sulfures, ce qui induit des eaux à pH très bas et riches en fer et sulfates nommées drainages acides miniers. Le drainage acide favorise la mise en solution des métaux lourds et des métaux de transition, une coloration rouge brique caractérise habituellement ces drainages acides due au contenu en fer des résidus miniers. Les écoulements acides se manifestent pendant quelques années ou pendant quelques siècles, généralement jusqu'à épuisement de la source de sulfure. Ils apparaissent dès le début de l'exploitation ou plusieurs années après la fermeture du site minier **(Melanson, 2006).**

La production du drainage minier acide comporte une série de réactions chimiques et biochimiques. Pour que ces réactions se produisent, il faut du minerai sulfuré réactif, de l'oxygène, de l'eau et des bactéries ferro-oxydantes qui se retrouvent naturellement dans le milieu et qui accélèrent les réactions d'oxydation.

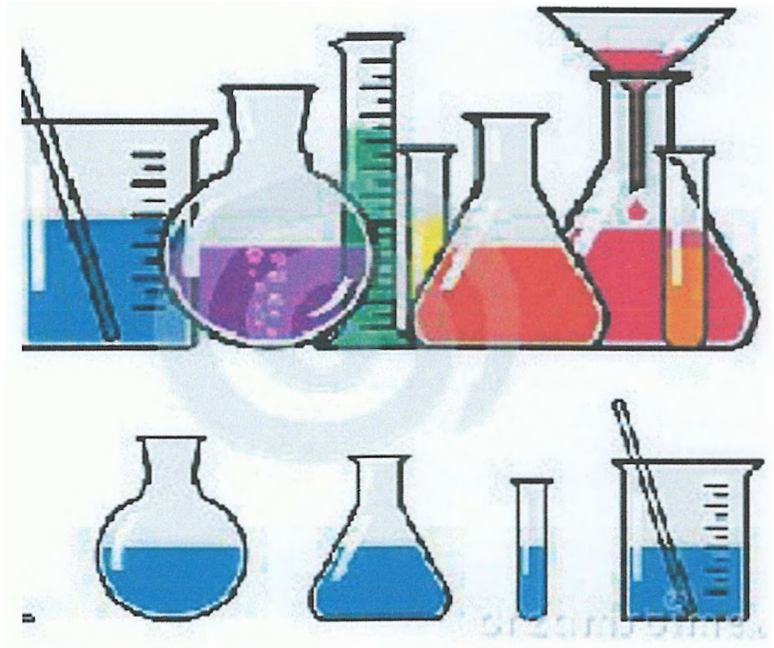
Le minéral sulfuré le plus commun présent dans les sites miniers est la pyrite (FeS_2). Leur oxydation est la cause principale du drainage minier acide **(Rose et cravotta, 1998 ; Razowska, 2001).** L'oxydation de la pyrite est réagie par les réactions chimiques suivantes **(Nordstrom et *al.*, 2000)** :

$$FeS_2 + 7/2\ O_2 + H_2O \longrightarrow Fe^{2+} + 2\ SO_4^{2-} + 2H^+$$

$$FeS_2 + 14\ Fe^{3+} + 8\ H_2O \longrightarrow 15\ Fe^{3+} + 2\ SO_4^{2-} + 16\ H^+$$

L'impact majeur du drainage minier acide est la remise en cause des usages de l'eau en aval des sites miniers, comme l'alimentation en eau potable, l'irrigation, la pêche et l'utilisation industrielle de l'eau. L'acidité des effluents miniers entraîne la corrosion des infrastructures, des équipements et des canalisations. 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. Les métaux constituent le risque associé au drainage minier le plus important pour l'homme. Si la surveillance des eaux destinées à l'alimentation humaine exclut les risques d'intoxication par ingestion directe, une intoxication indirecte via la consommation de poissons est possible **(Collon, 2003).**

Chapitre II. Matériel et méthodes



I. Présentation de la zone d'étude

I.1. Présentation géographique de la Kabylie de Collo

La mine de Boudoukha qui fait l'objet de notre étude appartient à l'aire géographique dénommé Kabylie de Collo. Cette dernière occupe la partie centrale du massif cristallin de Petite Kabylie qui s'étend sur plus de 150 Km le long du littoral méditerranéen entre la ville de Jijel à l'Ouest et la ville de Skikda à l'Est, sur une largeur d'environ 50 Km.

Géographiquement, la Kabylie de Collo est subdivisée en deux grands domaines : la partie nord dénommée domaine du Cap-Bougaroun et la partie sud, domaine des Beni-Toufout. Les grandes agglomérations de la Kabylie de Collo sont la ville côtière de Collo dans la partie nord, les villages d'Ain-Kechera et de Boudoukha au Sud, la ville d'El-Milia à l'Ouest et le village de Tamalous à l'Est **(Bouftouha, 2000).**

I.2. Présentation de la région de Boudoukha

I.2.1. Situation géographique

La mine de Boudoukha se trouve à la sortie du village de Boudoukha ; elle est située à 5 Km à l'Ouest du village d'Ain-kechera (willaya de Skikda) et à 20 Km à l'Est de la ville d'EL Milia (willaya de Jijel).

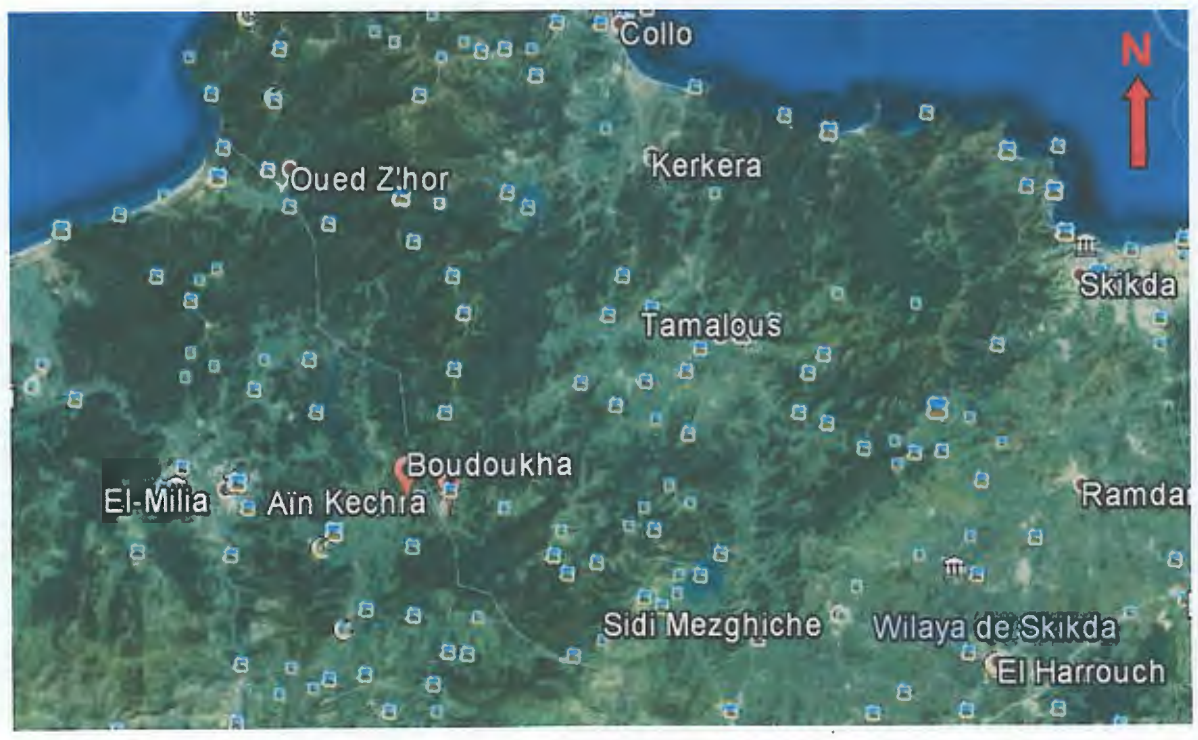


Figure 02 : Photo satellite de la région de Boudoukha **(Google Earth, 2016)**

I.2.2. Réseau hydrographique

La région de Boudoukha est traversée par un certain nombre d'Oued notamment, Oued Boudoukha au Sud et Oued Bou el fessadja au Nord, qui sillonnent la région pour se jeter dans l'Oued Ghezal.

I.2.3. Climat et végétation

La région de Boudoukha, comme toute la Kabylie de Collo est caractérisée par un climat méditerranéen avec un été sec et chaud et un hiver doux et pluvieux. La pluviométrie de la région atteint parfois 1500 mm/an, ce qui permet le développement d'une végétation très dense et souvent impénétrable.

Le couvert végétal de la région est constitué essentiellement de chênes lièges, chênes zénes, pins maritimes, ...etc. avec de vaste plantation de lentisques, d'oliviers et d'autres arbres fruitiers **(Bouttine et Serir, 2002).**

I.2.4. Historique des travaux miniers de la région de Boudoukha

La mine de Boudoukha comporte deux filons principaux et quelques filons secondaires dont la minéralisation est constituée par la blende, galéne, 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 commencé 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.

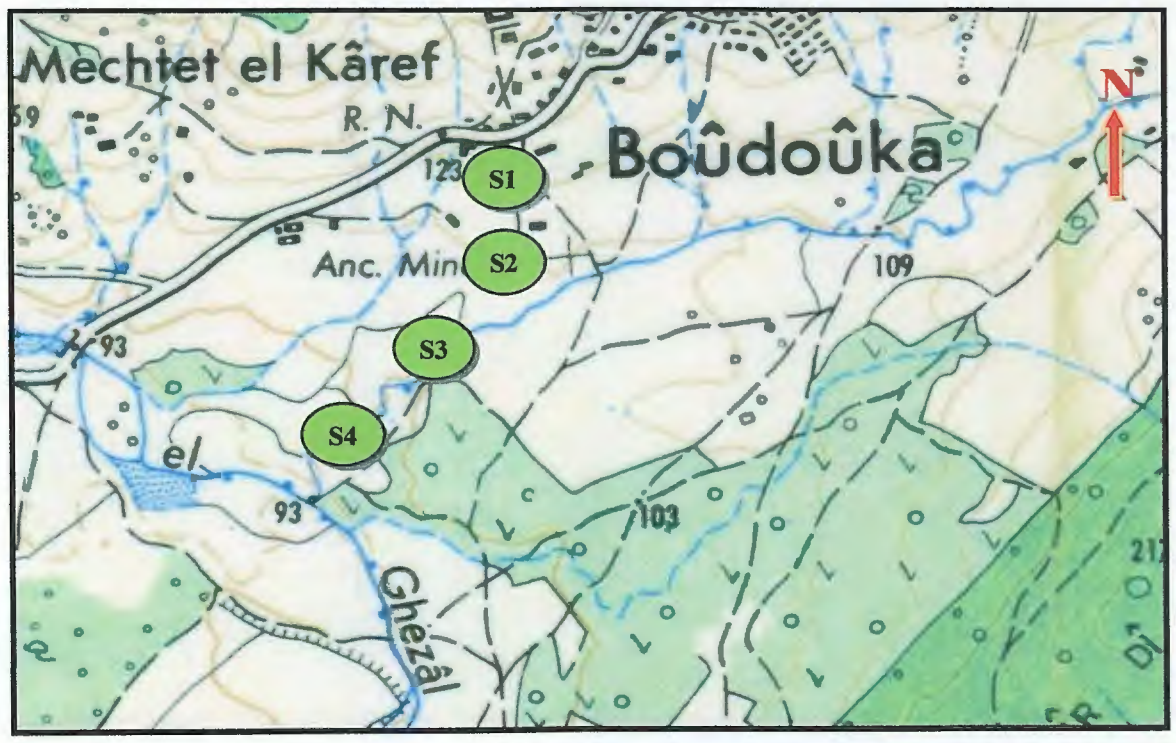
La région de Boudoukha est caractérisée par la présence des filons de quartz à minéralisation sulfurée polymétallique (Cu, Zn, Pb, Fe, Ag, etc.) Ces filons sont encaissés dans le corps grandioritique de Boudoukha ainsi que dans les formations du socle **(Bouftouha, 2000)**.

II. Echantillonnage et technique de prélèvement

II.1. Choix des stations de prélèvement et leur situation géographique

Dans le but d'évaluer la qualité physico-chimique et le degré de contamination polymétallique (Cd, Cu, Pb, Zn) des eaux de surface au voisinage de l'ancienne mine de Boudoukha, une campagne de prélèvement a été réalisée le 28/04/2016.

Pour avoir une représentation adéquate des apports en polluants, un parcours sur le terrain d'étude était réalisé. Les stations de prélèvement ont été choisies par rapport à l'effluent minier jusqu'au diversement dans l'Oued Ghezâl (figure 03).



Source: Carte topographique de Ain Kechera 5-6; Echelle 1/25000

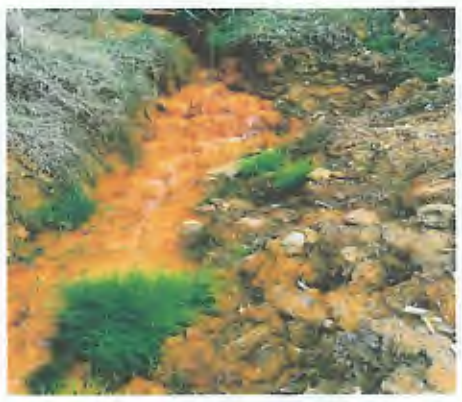
Figure 03 : Situation géographique des stations de prélèvement

S1: Station 1, **S2**: Station 2, **S3**: Station 3, **S4**: Station 4

Le tableau 06 présente les stations d'échantillonnage par rapport à l'effluent minier. Les photos de ces derniers sont présentées dans la figure 04.

Tableau 06 : Localisation des stations de prélèvement

Stations	Distance (m) (Par rapport à l'effluent minier)	Coordonnées géographiques UTM WGS 84	
S1	Effluent minier	32 S 0267851	4069453
S2	50	32 S 0267806	4069354
S3	100	32 S 0267795	4069211
S4	150	32 S 0267719	4069153



Station 01

Station 02

Station 03

Station 04

Figure 04 : les stations de prélèvements choisies

II.2. Prélèvement des échantillons et conservation

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne cependant les résultats analytiques et leur interprétation. L'échantillon doit être homogène représentatif et obtenu sans modifier les caractères physico-chimiques de l'eau **(Rodier et *al.*, 2009).**

II.2.1. Flaconnage de prélèvement

L'eau à analyser a été prélevée, dans des bouteilles en plastiques d'environ un litre et demi, pour chaque station on prélève deux échantillons. Pour le dosage des éléments traces métalliques, les bouteilles sont rincées à l'acide nitrique 10%, puis rincées abondamment avec l'eau distillée, égouttées, fermées, mais non séchées.

Au moment du prélèvement, les bouteilles sont rincées 3 fois avec de l'eau à analyser, puis remplis jusqu'au bord, fermées de telle façon qu'il n'y ait aucune bulle d'air et qu'il ne soit pas éjecté au cours du transport **(Rodier et *al.*, 2009).**

II.2.2. Transport et conservation des échantillons

Pour empêcher une prolifération microbienne les échantillons prélevés sont mis directement dans une glacière et ramenés immédiatement au laboratoire afin d'être analyser rapidement. Les échantillons destinés aux dosages de certains éléments (métaux, nitrites, nitrates, ammonium, ortho-phosphate) ont été acidifiés à pH < 2 et ils sont ensuite stockés dans le réfrigérateur afin de ralentir les actions chimiques et les activités biologiques **(Rodier et *al.*, 2009).**

III. Méthodes de mesure et d'analyses

III.1. Mesures sur terrain

La température, le pH et la conductivité électrique sont des paramètres très sensibles aux conditions du milieu et susceptibles de varier dans des proportions importantes s'ils ne sont pas mesurés *in situ*.

Ainsi à chaque prélèvement ces paramètres sont mesurés *in situ,* respectivement par un thermomètre digital de type Traceable-Fisher scientific, un pH-mètre de type (HANNA HI 8424) et un conductimètre de type (HANNA HI 8733).

III.2. Analyse au laboratoire

Les échantillons des eaux sont analysés au laboratoire en se référant aux méthodes d'analyse chimique décrites par **(Rodier et *al.*, 2009).**

III.2.1. Dosage des chlorures (Cl^-) (Méthode de Mohr)

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.2.2. Dosage des sulfates (SO_4^{2-}) (Méthode néphélométrique)

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.2.3. Demande biochimique en oxygène (DBO_5) (Technique respirométrique)

Cette technique présente un avantage important par rapport à la technique classique de dilution ; elle permet en effet d'être renseigné en continu grâce à un enregistrement cumulé de la DBO_5, ce qui donne des précisions intéressantes sur les cinétiques des réactions.

III.2.4. Demande chimique en oxygène (DCO) (Méthode à petite échelle en tube fermé)

La méthode ST-DCO (méthode à petite échelle en tube fermé) utilise le même principe que la méthode classique en système ouvert: les matières oxydables dans l'eau sont oxydées quantitativement par une quantité connue et en excès de bichromate de potassium en présence d'acide sulfurique, de sulfate d'argent (catalyseur) et de sulfate de mercure (II) (complexant des ions chlorure) et au reflux pendant 2 heures.

III.2.5. Dosage des ammoniums (NH_4^+) (Méthode au bleu d'indophénol)

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 (NH_2Cl) et de phénol donnent du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage par spectrométrie d'absorption moléculaire.

III.2.6. Dosage des nitrates (NO_3^-) (Méthode par spectrophotométrie d'absorption moléculaire)

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

III.2.7. Dosage des nitrites (NO_2^-) (méthode au réactif de Zambelli)

Dans un milieu chlorhydrique, l'acide sulfanilique en présence d'ion ammonium et de phénol, forme avec les ions NO_2^- un complexe coloré en jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrites.

III.2.8. Dosage des orthophosphates (PO_4^{-3}) (méthode par spectrophotométrie d'absorption moléculaire)

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les ions d'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.

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). Pour illustrer nos résultats, nous avons réalisé des histogrammes. Tous les calculs ont été effectués en utilisant les logiciels : Excel, Langage R et Statistica (version 7.0).

Chapitre III. Résultats et discussion

I. Principaux paramètres de la qualité des eaux

I.1. Paramètres physico-chimiques de l'eau

Les résultats des paramètres physiques (T°C, pH, CE) obtenus lors des analyses effectués sur les échantillons de l'eau sont mentionnés dans le tableau 06.

Tableau 06 : Variations spatiales des paramètres physiques

	Station 01	Station 02	Station 03	Station 04
Température (°C)	22,95 ± 0,77	23,05 ± 0,07	19,4 ± 0	20,35 ± 1,20
pH	4,29 ± 0,26	3,31 ± 0,60	7,25 ± 0,13	7,29 ± 0,23
CE (mS/cm)	3,42 ± 0,11	3,45 ± 0,21	1,65 ± 0,07	1,35 ± 0,35

I.1.1. Température (°C)

La température de l'eau est une variable essentielle et préalable à toute évaluation de la qualité de l'eau. Elle a une influence directe sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du milieu aquatique et par conséquent, sur plusieurs paramètres de la qualité de l'eau **(Eugéne, 2000).** Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol **(Rodier, 1996).**

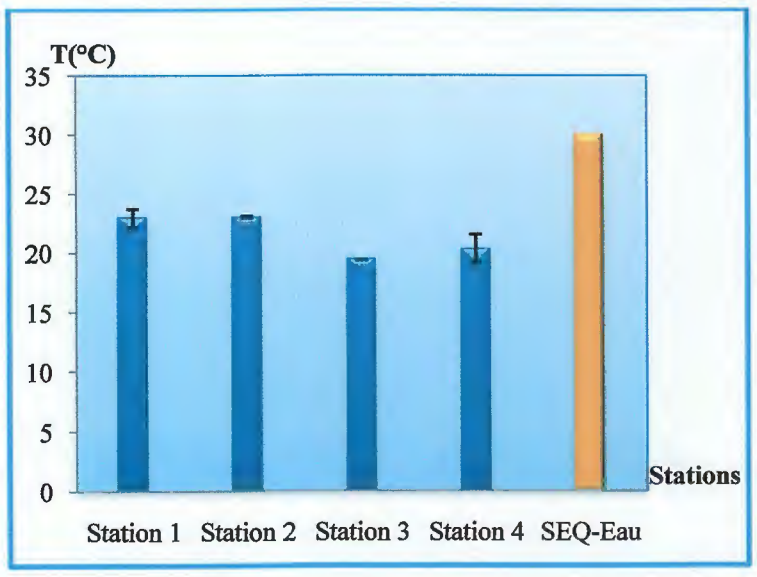


Figure 05 : Variations spatiales des températures des eaux de surface

L'analyse de la figure 05 nous permet de constater que les valeurs moyennes de la température varient d'une station à une autre. De même l'analyse de la variance (annexe 02) manifeste un effet station significatif ($F = 13.26$, $p < 0.010$). Ces températures oscillent entre

une valeur minimale de l'ordre de 19.4°C au niveau de la station 03 et une valeur maximale de 23,05°C au niveau de la station 02(tab 06). Selon la grille de qualité des eaux de surface, les températures mesurées dans les eaux analysées appartiennent à la classe bonne à excellente qualité.

La température présente des valeurs moyennes très rapprochées entre les quatre stations. L'élévation légère de la température au niveau des stations 01 et 02 est due à l'ensoleillement intense (couvert végétal faible). Alors que celles couvertes de végétation en particulier la strate arborée (station 03 et 04) présentent des températures moins élevées. Ainsi que la profondeur des eaux au niveau des stations 03 et 04 est la plus importante.

I.1.2. Potentiel Hydrogène (pH)

Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons **(De Villers et *al.*, 2005).**

Les valeurs moyennes du pH sont comprises dans un intervalle variant de 3,31 pour la station 02 à 7,29 pour la station 04, ce qui indique que les eaux des stations 03 et 04 sont de bonne qualité et respectent la norme provisoire algérienne des eaux superficielles qui est de (6.5-8.5) à la différence des eaux des stations 01 et 02 qui sont de mauvaise qualité et sont largement en dessous de la norme (tableau 06).

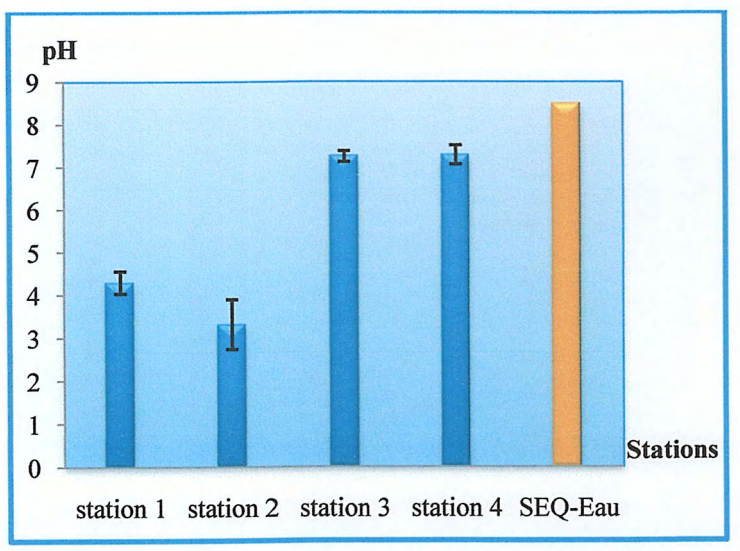


Figure 06: Variations spatiales du pH des eaux de surface

L'observation de la figure (06) permet de constater que les variations entre les stations concernant cet élément sont importantes. De même l'analyse de la variance (Annexe 02) manifeste un effet station hautement significatif ($F = 70.66$, $p < 0.00063$).

Les eaux de la station 01 et 02 sont très acides, ce qui est en relation directe avec le phénomène du drainage minier acide. L'oxydation de la pyrite (FeS_2) est la première responsable de l'augmentation de l'acidité, ce qui induit des eaux riches en fer et en sulfates. C'est justement, l'oxydation de ces derniers en présence d'eau, qui est à l'origine de l'acidification du milieu et du relargage des métaux lourds **(Lakrim et *al.*, 2011).** L'altération et le lessivage du stock de minerai laissé à l'air libre et des rejets de l'ancienne laverie de la mine de Boudoukha ont contribué à la production de solutions acides, chargées en métaux lourds.

Cependant cette acidité est neutralisée dans les stations 03 et 04. Ceci peut être expliqué par l'éloignement de l'effluent minier, ainsi que par l'effet de la dilution. Plusieurs études sur des eaux superficielles ont montré l'effet de la dilution des contaminants après mélange des eaux polluées avec des eaux douces **(Lee et *al.*, 2001 ; El Gharmali, 2005).**

De plus, les résultats de ce travail restent comparables à ceux obtenus par **Lakrim et *al.*, (2011)**, qui ont rapporté des valeurs moyennes de pH variant entre 1,84 et 8,44 dans les échantillons liquides de la mine de Nador (Nord-Est du Maroc), par contre inférieurs à ceux enregistrés par **Baghdad et *al.*, (2009)** qui ont obtenus des valeurs de pH toujours supérieur à 7 qui oscillent entre 7,42 et 7,91 au niveau des eaux superficielles de la mine abandonnée de Zaida (Haute Moulouya-Maroc) et par **Tanouayi et *al.*, (2015)** qui ont montré des valeurs moyennes de pH entre 6,62 et 7,39 dans les eaux de surface de la zone minière de Hahotoé-Kpogamé (Sud-Togo).

I.1.3. Conductivité électrique (CE)

La mesure de la conductivité de l'eau nous permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau (chlorures, sulfates, calcium, sodium, magnésium…). Elle est proportionnelle au degré de minéralisation (teneur globale en éléments minéraux généralement ionisées) **(Savary, 2003).** Elle est en fonction de la température de l'eau et elle est plus importante quand celle-ci est élevée **(Ahnon, 2011).**

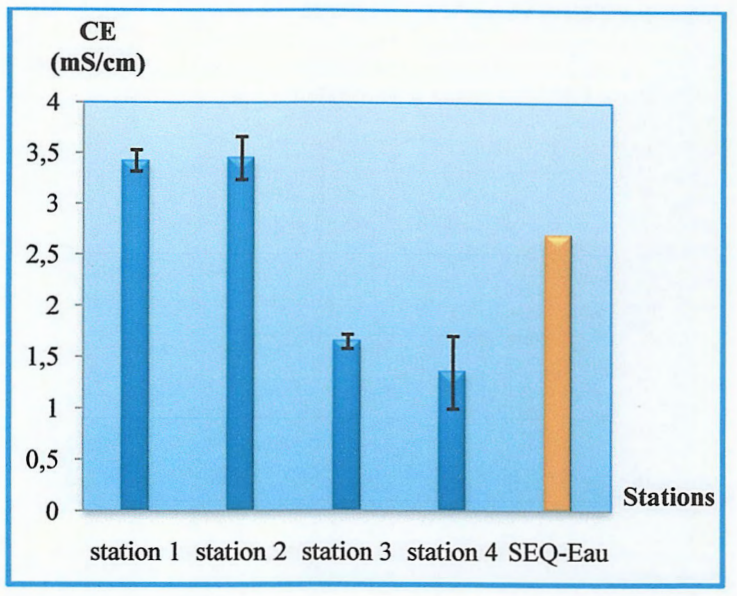


Figure 07 : Variations spatiales de la conductivité électrique des eaux de surface

Les valeurs enregistrées fluctuent entre 1,35 mS/cm dans la station 04 et 3,45 mS/cm dans la station 02(Fig.07). Cependant elle représente une forte minéralisation pour les eaux analysées et une moyenne à très mauvaise qualité (tableau 06). Les eaux des stations 03 et 04 respectent la norme provisoire algérienne des eaux superficielles qui est de 2,8 mS/cm à la différence des eaux des stations 01 et 02 qui dépassent la norme. D'une manière générale, l'analyse de la variance montre une différence significative entre les différentes stations ($F = 54.39$, $p < 0.0010$).

Les eaux des effluents miniers se caractérisent par une conductivité électrique élevée **(Chaguer, 2013).** Ceci est généralement le cas pour l'ensemble des stations 01 et 02. A l'inverse les eaux des stations 03 et 04 sont faiblement minéralisées, les valeurs enregistrées dans ces stations pourraient être attribuées au phénomène de dilution au niveau de la station 03 de même l'effet d'oued Ghezal dans la station 04.

Les teneurs moyennes obtenues dans le présent travail restent supérieures à celles rapportées par **Baghdad et *al.*, (2009),** au niveau des eaux superficielles de la mine abandonnée de Zaida (de 370 à 2380 µS/cm) ; par **Lakrim et *al.*, (2011)** au niveau des échantillons liquides de la mine de Nador (de 1089 à >20000 µS/cm) et par **Tanouayi et *al.*, (2015),** au niveau des eaux de surface de Hahotoé et de Kpogamé qui varient de 127,8 à 1223 µS/cm.

I.2. Eléments minéraux majeurs

Les résultats des éléments minéraux (Cl^-, SO_4^{2-}) sont représentés dans le tableau 07.

Tableau 07 : concentrations des éléments minéraux majeurs dans les divers stations

	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4
Chlorures (mg/l)	381,63 ± 37,65	488,13 ± 62,76	284 ± 0	292 ± 11,31
Sulfates (mg/l)	430,30 ± 75,62	422,68 ± 54,97	144,72 ± 11,86	76,87 ± 21,53

I.2.1. Chlorures (Cl^-)

Les concentrations des chlorures sont très variables, pouvant passer d'une dizaine de mg/l à plus d'un millier de mg/l. La teneur en chlorure d'une eau dépend de l'origine de l'eau et de la nature du terrain qu'elle traverse **(Hakmi, 2006).**

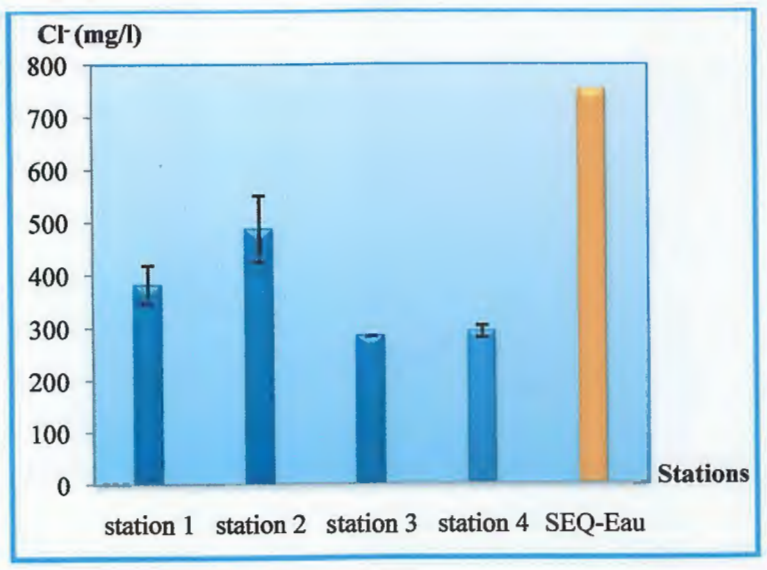


Figure 08 : variations spatiales des teneurs en chlorures dans les eaux de surfaces

La grille de qualité des eaux de surface, montre des variations des teneurs en chlorures entre les différentes stations (Fig.08). Les concentrations moyennes sont comprises dans un intervalle variant de 284 mg/l pour la station 03 à 488,13 mg/l pour la station 02 (tab.07). Les concentrations enregistrées dans les stations 03 et 04, permettent de constater que les eaux analysées sont de bonne qualité, tandis que celles des stations 01 et 02 sont de moyenne qualité. Cependant, ces valeurs restent inferieures à 500 mg/l valeur considérée comme valeur limite des teneurs en chlorure déterminée par la norme provisoire algérienne.

Les concentrations en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés **(Rodier, 2005)**. L'analyse de la variance (Annexe 02) montre une variabilité spatiale importante ($F = 11.57$, $p < 0.010$).

I.2.2. Sulfates (SO_4^{2-})

Les sulfates sont liés aux cations majeurs : calcium, magnésium et sodium, leurs concentrations dans les eaux naturelles est très variables mais ne dépassent généralement pas le 1 g/l **(Rodier, 1984)**.

Les teneurs moyennes en sulfate varient d'une station à une autre, la valeur maximale est de l'ordre de 430,30 mg/l dans la station 01 alors que la valeur minimale est de l'ordre de 76,86 mg/l dans la station 04. Nous constatons une diminution graduelle de la station 01 à la station 04 (tab.07). L'analyse de la variance fait apparaître un effet station hautement significatif ($F = 29.10$, $p < 0.0035$).

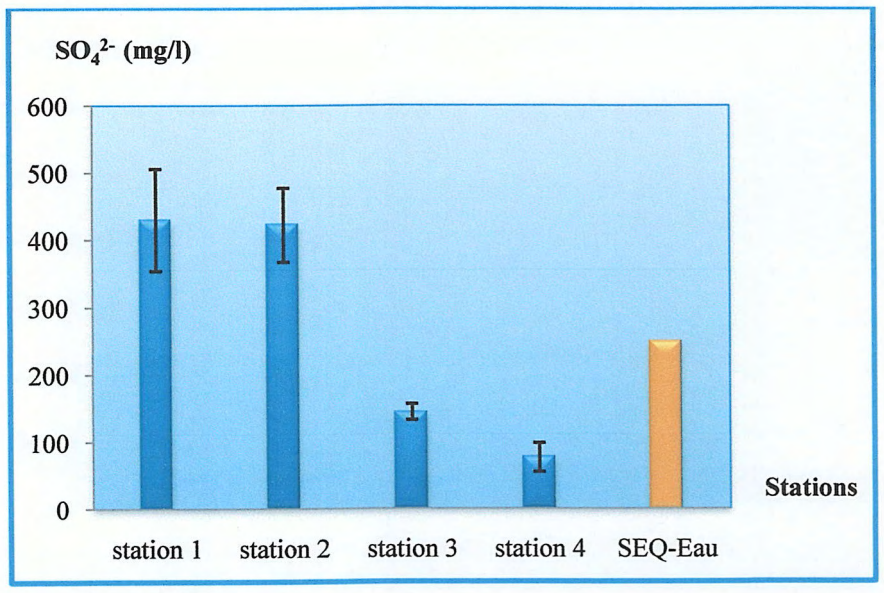


Figure 09 : variations spatiales des teneurs en sulfates dans les eaux analysées

Les stations 01 et 02 présentent des valeurs moyennes qui dépassent la limite exigée par la norme provisoire algérienne des eaux de surface qui est de 400 mg/l, à l'inverse des stations 03 et 04 qui présentent des teneurs bien inférieurs (Fig.09). Ces résultats affirment que la qualité de l'eau est très mauvaise pour les deux premières stations et de bonne à excellente pour les deux dernières stations.

Les fortes teneurs en sulfates dans les deux premières stations peuvent être engendrées par le phénomène du drainage minier acide, plus précisément par la dissolution des composés sulfatés qui favorise la production des ions de sulfates solubilisés. Dans certains terrains

contenant des sulfures métalliques (fer, nickel, cuivre, etc.), leur oxydation peut donner des sulfates **(Rodier et al., 2009).** Cependant la nette diminution des sulfates (station 03 et 04) traduit une auto épuration efficace des eaux, surtout au niveau d'oued Ghezal (station 04) due à la fois à une bonne minéralisation et aux dilutions successives.

Une corrélation positive et hautement significative a été enregistrée entre les sulfates et la conductivité électrique (R= 0,99). Tandis qu'une corrélation négative et hautement significative a été enregistrée avec le pH (R = -0,96).

I.3. Paramètres de la pollution organique

Les résultats des paramètres de pollution organique (DBO_5, DCO, NH_4^+, NO_3^-, NO_2^-, PO_4^{-3}) sont mentionnés dans le tableau 08.

Tableau 08 : Variations spatiales des paramètres de pollution organique

	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4
DBO_5 (mg/l)	24 ± 1,41	18,5 ± 0,71	15,5 ± 0,71	10 ± 0
DCO (mg/l)	33 ± 2,83	20 ± 0	18 ± 1,41	10,8 ± 0,28
Ammonium (mg/l)	0,46 ± 0,06	0,635 ± 0,22	2,95 ± 0	3,475 ± 0,59
Nitrites (mg/l)	0,12 ± 0,04	0,14 ± 0,007	0,30 ± 0,007	0,78 ± 0,028
Nitrates (mg/l)	47,55 ± 0,18	26,38 ± 2,89	1,41 ± 0,44	1,39 ± 0,34
Orthophosphates (mg/l)	0.20 ± 0,05	0,075 ± 0,007	4,65 ± 0,26	2,77 ± 0,19

I.3.1. Demande biochimique en oxygène (DBO_5)

La DBO_5 est utilisé pour établir un classement qualitatif des eaux et définir l'altération du milieu par les matières organiques biodégradables **(Rodier et *al.*, 2009).** Il est admis qu'une DBO_5 inférieure à 1 mg/l d'O_2 peut être considérée comme normale, entre 1 et 3 comme acceptable et au-delà de 3, comme douteuse ou anormale **(Gaujous, 1995).**

Les valeurs enregistrées fluctuent entre 10 à 24 mg d'O_2/l au niveau des stations 04 et 01 respectivement, les résultats montrent des variations importantes entre les stations ($F = 91.11$, $p < 0.00038$). D'après le SEQ-Eau la qualité de l'eau de la station 04 est moyenne, cependant pour les autres stations l'eau est de mauvaise qualité.

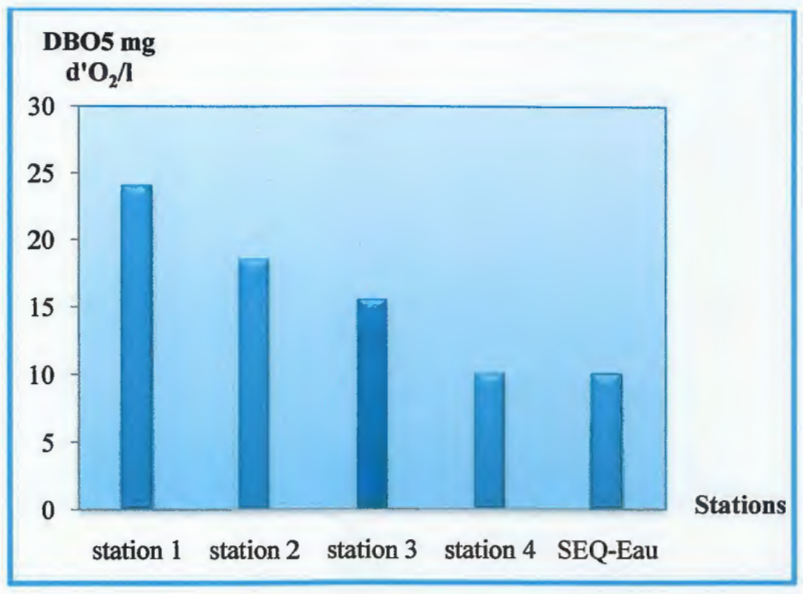


Figure 10 : variations spatiales de la DBO_5 dans les eaux analysées

Les valeurs de la DBO_5 sont légèrement élevées dans la station 01 par rapport aux autres stations (Fig.10). Plus la DBO_5 est élevée, plus la quantité de matières organiques présentes dans l'échantillon est élevée **(De Villers et *al.*, 2005).** Ainsi, l'augmentation de la DBO_5 est fortement liée à celle de la température **(Rodier, 2005).**

I.3.2. Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO permet d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale **(Ramade, 2002).** Il s'agit donc d'un paramètre important qui offre une représentation plus ou moins complète des matières oxydables présentes dans l'échantillon.

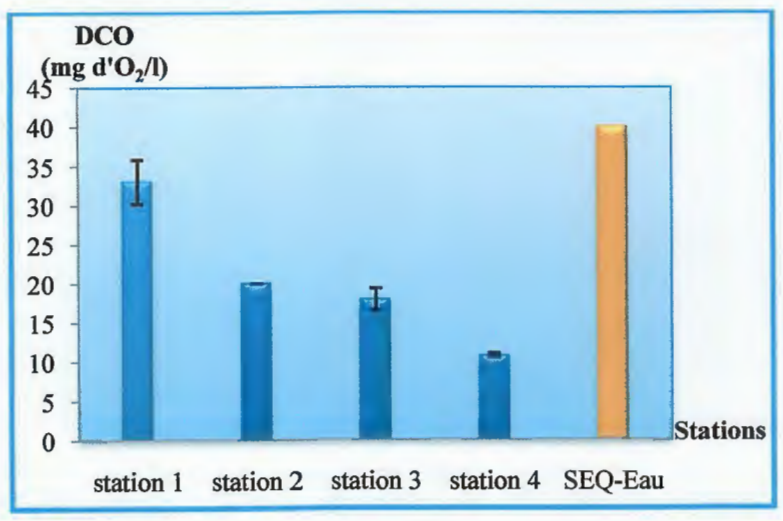


Figure 11 : variations spatiales de la DCO dans les eaux analysées

Les résultats obtenus au cours de notre étude montrent des valeurs variables entre les quatre stations (fig.11). L'analyse de la variance fait apparaître un effet station hautement significatif ($F = 67.94$, $p < 0.00069$). La valeur maximale de l'ordre de 33 mg d'O_2/l est enregistrée au niveau de la station 01 alors que la valeur minimale qui est de 10.8 mg d'O_2/l est enregistrée au niveau de la station 04(tab. 08) D'après la grille de qualité des eaux de surface, les eaux analysées appartiennent à la classe bonne à excellente qualité.

La teneur maximale (33 mg/l) de la DCO enregistrée au niveau de la station 01 peut être expliquée par le lessivage des résidus miniers de l'ancienne mine qui contient des différents éléments inorganiques **(Makhoukh, 2011),** cependant la diminution graduelle de la DCO de la station 01 à la station 04 est due probablement à l'éloignement de la source de pollution (effluent minier). Néanmoins, Les résultats obtenus indiquent que les valeurs de la DCO dans les échantillons analysés sont largement en dessous de la NPA adoptée (120 mg/l).

La DCO présente une corrélation hautement significative et positive avec la DBO_5 ($R= 0.97$).

I.3.3. Composés azotés

I.3.3.1. Ammonium (NH_4^+)

L'azote ammoniacal se trouve dans les eaux de surface sous la forme d'ion d'ammonium NH_4^+. Il traduit un processus de dégradation incomplète de la matière organique azotée lorsque la teneur en oxygène est insuffisante pour assurer sa transformation **(Rejsek, 2002).** Dans les eaux superficielles, l'Ammonium peut avoir pour origine : la matière organique végétale des cours d'eau, la matière organique animale ou humaine, les rejets industriels (engrais, textiles…) **(Rodier, 2005).**

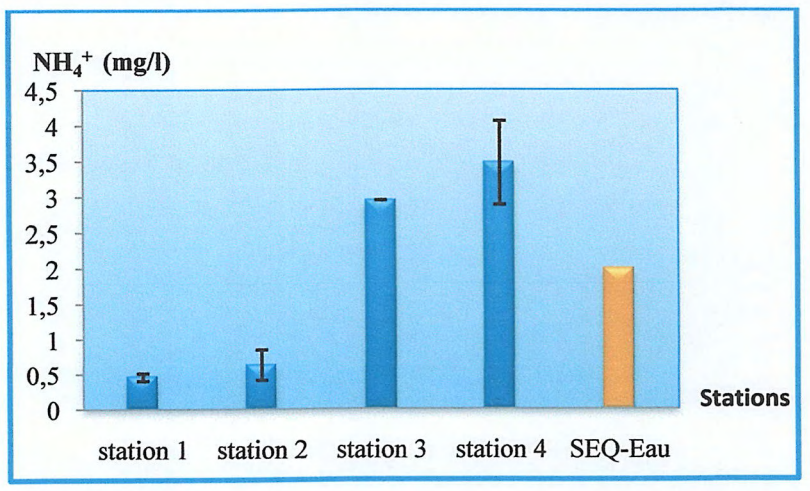


Figure 12 : variations spatiales des teneurs d'ammonium dans les eaux analysées

Les teneurs en ammonium obtenues au cours de notre étude semblent être variables d'une station à une autre (fig.12). De même L'analyse statistique par le biais de l'ANOVA présente des différences significatives entres les différentes stations ($F = 48.89$, $p < 0.0013$). La plus forte teneur (3,47 mg/l) a été enregistrée au niveau de la station 04, alors que la plus faible teneur (0,46 mg/l) est observée au niveau de la station 01. Selon le SEQ-Eau, l'eau analysée est de bonne qualité pour la station 01, de moyenne qualité pour la station 02 et de mauvaise qualité pour les stations 03 et 04 (tableau 08).

Les teneurs en ammonium augmentent graduellement de la station 01 à la station 04 (fig.05h), cette augmentation provient essentiellement de l'élévation des concentrations d'ammonium a partir de l'effluent minier jusqu'au diversement dans l'oued Ghezal, sans toutefois négliger les apports d'origine domestique issue des eaux usées déversées au niveau de la station 03. Mise à part la station 01, les autres stations présentent des valeurs moyennes qui dépassent la limite exigée par NPA des eaux de surface qui est de 0.5 mg/l.

I.3.3.2. Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates constituent le stade final d'oxydation de l'azote organique. C'est une forme très soluble. Ils sont abondamment répandus dans les sols, dans la plupart des eaux et dans les plantes où ils sont nécessaires à la synthèse végétale. Les nitrates se trouvent naturellement en faible concentration dans les eaux superficielles, ces derniers ne contiennent pas plus de 10 mg/l de nitrates **(Savary, 2003).**

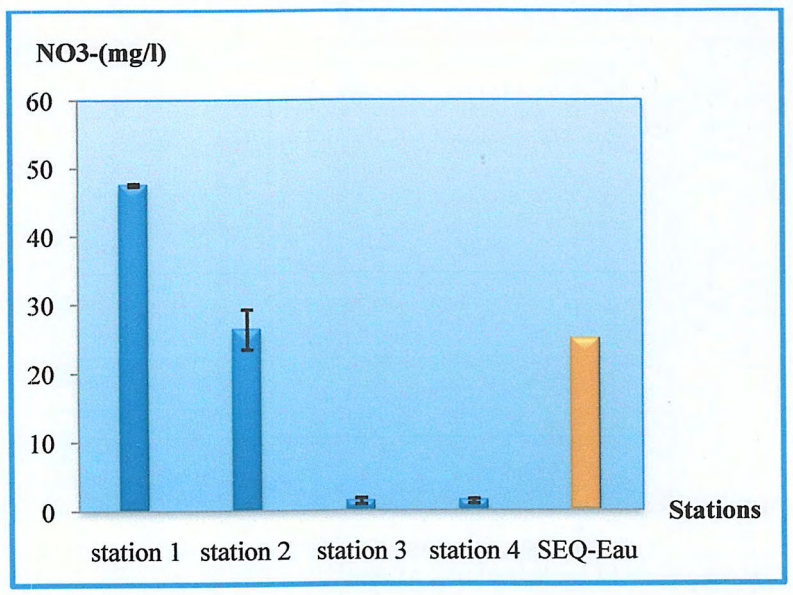


Figure 13 : variations spatiales des teneurs en nitrates dans les eaux analysées

L'analyse de tableau 08 et la figure 13 montre que les teneurs en nitrates dans les eaux analysées varient entre une valeur maximale de 47,55 mg/l enregistrée au niveau de la station 01, et une valeur minimale de 1,39 mg/l marquée au niveau de la station 04. D'après le SEQ-Eau nous constatons que la qualité de l'eau dans les stations 01 et 02 est mauvaise, Alors qu'elle est très bonne dans les stations 03 et 04.

Les teneures en nitrates sont nettement faibles et loin de dépasser la norme provisoire algérienne (50 mg/l), ceci peut être expliqué par l'action de la flore aquatique qui les utilise pour la synthèse des molécules organiques **(Amoros et Petts, 1993).** En effet les stations présentent une diminution graduelle des teneurs en nitrates de la station 01 à 04. L'analyse de la variance montre une variabilité spatiale très importante ($F = 456.08$, $p < 0.000015$).

I.3.3.3. Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites dans l'eau proviennent essentiellement soit d'une oxydation incomplète de l'ammonium, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante **(Rodier, 1984).**

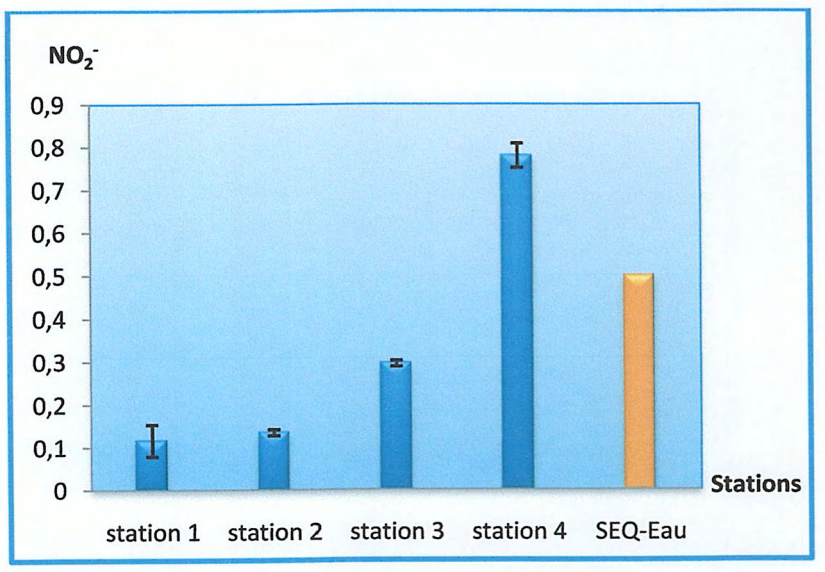


Figure 14 : variations spatiales des teneurs en nitrites dans les eaux analysées

Les résultats obtenus au cours de notre étude révèlent que les teneurs en ions NO_2^- sont variables (fig.13). De même, la différence des teneurs en nitrites entre les stations est hautement significative ($F = 331.43$, $p < 0.000030$). La teneur la plus faible (0.12 mg/l) est observée au niveau de la station 01, alors que la teneur la plus élevée (0.78 mg/l) est enregistrée au niveau de la station 04 (tableau 08). Les concentrations en nitrites sont faibles et loin de dépasser la

NPA (0,1 mg/l). Selon les valeurs guides (SEQ-eau), les résultats reflètent une eau de bonne qualité pour les deux premiers stations et de moyenne voir mauvaise qualité pour les stations 03 et 04 respectivement.

Les nitrites sont considérés comme étant des ions intermédiaires entre les nitrates et l'azote ammoniacal **(Abboudi et *al.*, 2014)**, ce qui explique les faibles quantités rencontrées dans les eaux analysées. Cela peut être due sans doute à la réduction des nitrites en ammonium ($NO_2^- + 8\ H^+ + 6\ e^- \rightarrow NH_4^+ + 2(H_2O)$; En effet les concentrations en nitrites évoluent en sens inverse des concentrations en nitrates.

Une corrélation positive et hautement significative a été enregistrée entre les nitrites et les chlorures (R = 0.99).

I.3.4. Orthophosphates (PO_4^{-3})

Les ions phosphates contenus dans les eaux de surface ou de profondeur peuvent être d'origine naturelle (produit de décomposition de la matière organique et lessivage des minéraux). Leur présence dans ces eaux est essentiellement due aux rejets industriels (agroalimentaire, laveries…), domestiques (polyphosphates des détergents) ou agricoles (le lessivage de terres cultivées renfermant des engrais phosphatés) **(Savary, 2003).**

Selon **Rodier, (2005)** les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol, leur présence naturelle dans l'eau est liée aux caractéristiques des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique. Des teneurs supérieures à 0.5 mg/l constituent un indice de pollution.

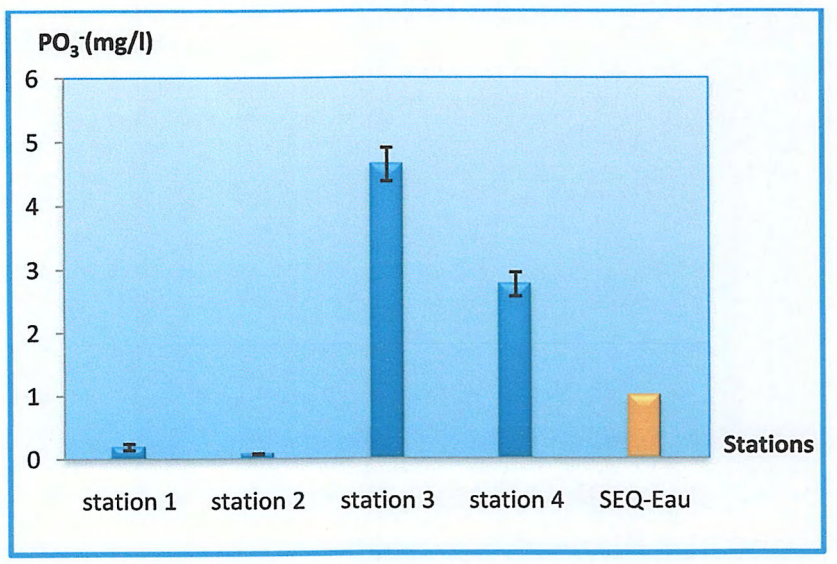
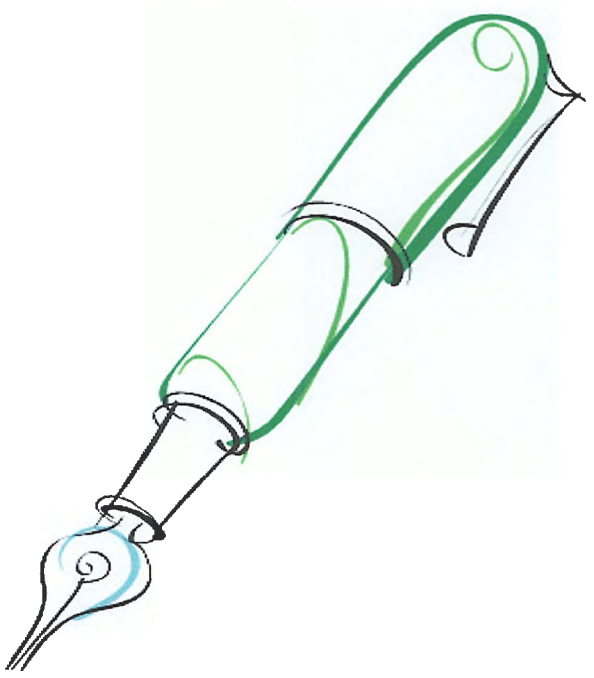


Figure 15 : variations spatiales des teneurs en orthophosphates dans les eaux analysées

Les teneurs en orthophosphates semblent être variables d'une station à une autre (fig.05k). L'analyse de la variance montre des différences hautement significatives entre les stations ($F = 360.5$, $p < 2.543e-05$). La plus forte teneur (4,65 mg/l) a été enregistrée au niveau de la station 03, alors que la plus faible teneur (0,075 mg/l) est observée au niveau de la station 02. Selon la grille de qualité des eaux de surface, les eaux analysées sont de très bonne qualité dans les stations 01 et 02 et de mauvaise qualité dans les stations 03 et 04.

Les eaux des stations 01 et 02 respectent la norme provisoire algérienne des eaux superficielles qui est de 0.5 mg/l à la différence des eaux des stations 03 et 04 qui dépassent largement cette norme. Ceci est due principalement au diversement des eaux usées et des rejets domestiques au niveau de la troisième station. **Somé et *al.*, (2008),** notent également pour des eaux de surface, des valeurs très inférieures aux normes en ce qui concerne les orthophosphates, suffisantes cependant pour induire avec les nitrates des risques d'eutrophisation des plans d'eau concernés.

Conclusion



Les rejets de stériles de l'ancienne mine de Boudoukha, renferment d'importantes quantités de minéraux sulfurés (pyrite, chalcopyrite, galène, blende,...etc.) disséminés suffisamment pour activer les plus graves problèmes environnementaux par le DMA.

Les résultats obtenus des analyses physico-chimiques et du dosage des métaux lourds indiquent que les eaux de surface au voisinage de cette mine sont caractérisés par un pH acide (3,31 et 4,29) et une conductivité électrique élevée qui témoigne la minéralisation globale des eaux au niveau des stations 01 et 02. Cette minéralisation est liée à la mobilisation des éléments du substrat géologique dépendante des conditions physico-chimiques du milieu. Cependant les stations 03 et 04 présentent un pH neutre et une faible conductivité électrique, ce qui peut être attribué au phénomène de dilution et par l'éloignement de la sortie de la galerie principale d'exploitation.

Selon la grille de qualité des eaux de surface, les résultats obtenus des paramètres physico-chimiques mesurés au niveau des stations 01 et 02 présentent des valeurs classées dans une moyenne à mauvaise qualité pour la majorité des éléments appréciés. Toutefois, les eaux analysées au niveau des stations 03 et 04 renferment une excellente voire une bonne qualité.

Donc les essais de caractérisation des eaux superficielles ont montré une forte et irrégulière pollution, qui pourrait être préjudiciable pour le milieu récepteur aquatique. Ce sont les réactions d'oxydations des sulfures qui sont à l'origine de la continuité du drainage minier acide. Autrement dit, cette oxydation est probablement à l'origine de la destruction d'une grande partie de la biodiversité faunistique et floristique que la zone recèle. Aussi, les points d'eaux naturelles sont soumis à une vraie menace de contamination par le DMA.

Finalement, selon le SEQ-Eau, les eaux analysées ne présentent aucune norme de potabilité, néanmoins elles nécessitent un certain traitement pour un usage sans risque pour l'abreuvage du bétail et l'irrigation.

En perspective il serait plus important:

De réaliser des études complémentaires concernant le transfert des polluants en général et les métaux en particulier dans les organismes aquatiques.

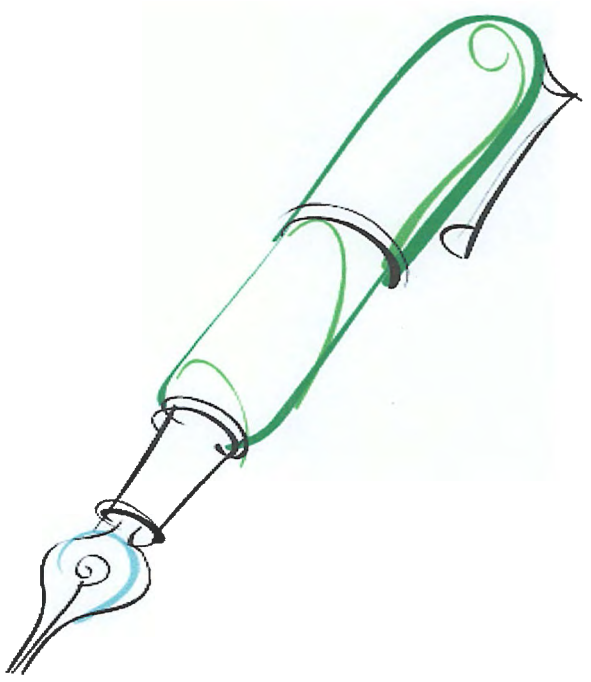
De compléter le travail par des analyses microbiologiques (dénombrements bactériens et recherche microbiologiques) et de les étaler sur de longues périodes.

De réaliser des analyses physico-chimiques spatio-temporelles des eaux afin de mieux évaluer l'impact de la pollution agricole (pesticides et métaux lourds).

De faire des compagnes de sensibilisation auprès des scolaires.

En fin nous espérons de mettre en vigueur une réglementation concernant la protection de la biodiversité au niveau de ce site.

Références bibliographiques



-A-

Abboudi A., Tabyaoui H., El Hamichi F., 2014. Etude de la qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux De surface du bassin versant de Guigou, Maroc. European Scientific Journal. ISSN 1857- 7431. N° 23. pp: 88-89.

Ahnon A.S., 2011. Evaluation de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux de surface dans les zones montagneuses du sud-ouest du Togo. Environnement eau et santé. Université de Lome. 35p.

Amoros C., Petts G.E., 1993. Hydrosystèmes fluviaux, Collection d'Ecologie 24. Masson. 273p.

-B-

Baghdad B., Naimi M., Bouabdli A., Sonnet P., Garcia A., Bounakhla M., 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).ENVIRO WATER.13p.

Bechac J.P., Boutin P., Mercier B., Nuer P., 1983. Traitement des eaux usées. Edition Eyrolles. pp: 32- 34.

Boucheseiche C., Cremille E., Pelte T., Pojer K., 2002. Guide technique n° 7 - Pollution toxique et écotoxicologie : Notions de base « Quand les toxiques se jettent à l'eau ».Agence de l'Eau Artois picardie.110p.

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

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

Brunet B., 1993. Les mots de la géographie, dictionnaire critique. Collection Dynamiques des territoires. 3ème Edition. RECLUS. 518p.

-C-

Cardot C., 1999. Génie de l'environnement, les traitements de l'eau, procédés physicochimiques et biologiques, cours et problèmes résolus. Tehnosup. Les filières technologiques des enseignements supérieurs. Ellipses Édition marketing. pp : 159-162.

Chaguer M., 2013. Analyse et Spéciation des Métaux dans un Oued en zone Minière, Cas de l'Oued Essouk .Thèse de Doctorat. Université de Constantine I. 146 p.

Collon P., 2003. Evolution de la qualité de l'eau dans les mines abandonnées du bassin ferrifère lorrain. Thèse de Doctorat. L'Institut Polytechnique de Lorraine. 245p.

Custer K., 2003. Cleaning Up Western Watersheds. Report by Kelly Custer for the Mineral Policy Center. 33p.

-D-

De Villers J., Squilbin M., Yourassowsky C., 2005. Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général. Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement.16 p.

Dynesius M et Nilson C., 1994. Fragmentation and flow regulation of river systems in the northest third of the world. Science. N° 266. pp 753-762.

-E-

El Gharmali A., 2005. Impact des résidus miniers et des eaux résiduaires sur la contamination métallique des écosystèmes aquatiques et terrestres de la région de Marrakech, Maroc. Thèse d'État. Université Cadi Ayyad. Fac. 212p.

Eugéne A ., 2000. Ecologie des eaux courantes. Edition TEC&DOC. Paris. ISBN2-7430-03766.

-F-

Faurie C., Ferra C., Médori P., Dévaux J., Hemptine J.L., 2006. Ecologie approche scientifique et pratique. 5éme édition. Tec and Doc. Londre. Paris. Newyork. p : 406.

Faurie C., Ferra C., Médori P., Dévaux J., Hemptine J.L., 2012. Ecologie approche scientifique et pratique. 6éme édition, Tec and Doc. Paris. pp : 187, 310-331.

Fischesser B ., Dupuis-Tate M ., 2003. Rivières et paysages. Éditions de la Martinière. Paris. 343p.

-G-

Gaujous D., 1995. La pollution des eaux aquatiques. Édition Tec & Doc-Lavoisier. Paris. 200p.

Genin B., Chauvin C., Ménard F., 2003. Cours d'eau et indices biologiques. Pollutions-Méthodes-IBGN. 2éme édition. Educagri. 223 p.

Grosculaud G ., 1999. L'eau usages et polluants. Tome II .Institut National De la Recherche Agronomique INRA. Paris. pp: 17, 193.

-H-

Hakmi A., 2006. Traitement de l'eau de source bousfer Oran. [en ligne], Université des sciences et de la technologie. Oran. Disponible sur <http://www.memoireonline.com, traitement-des-eaux-quot-traitement-de-de-leau-de-source-bousfer-ORAN.html >, consulté le 16/05/2016.

-L-

Lakrim M., Mesrar L., El Aroussi O., Lahrach A., Beaabidate L., Garouani A., Chaouni A., Tabyaoui H., Jabrane R., 2011. Etude d'impact des déchets miniers de la mine de Nador sur l'Environnement (Nord-Est du Maroc). Faculté des sciences et techniques de Fès. N°18.17p.

Lee C.G., ChonhT., Jung M.C., 2001. Heavy metal contamination in the vicinity of the Daduk Au-Ag-Pb-Zn mine in Korea. Applied Geochemistry 16. pp : 1377-1386.

-M-

Makhoukh M., 2011. Contribution à l'étude physicochimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya. Larhyss Journal. N° 09.169p.

MEDD et agences de l'eau., 2003. Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau. Grilles d'évaluation SEQ- Eau (version 2). 40 p.

Melanson M., 2006. Analyse d'un système de traitement passif pour le site de la mine Eustis. Essai présenté en vue de l'obtention du grade de maître en Environnement. Université de Sherbrooke. Québec. 69p.

-N-

Nechad I., Fadil K., Fadil F., 2014. Qualité physicochimique des eaux des sources Ain Regrag et Ain Sidi Bouali dans la région de Sefrou (moyen atlas, Maroc).Larhyss journal. N°20. ISSN 1112-368. pp: 127-146.

Nordstrom D.K., Alpers C.N., Ptacek C.J., Blowes D.W., 2000. Negatives pH and extremely acidic mine waters from Iron Mountain. California. Environ. Sci, Technol. pp: 34, 254-258.

NPA, 2002. Norme provisoire algérienne de la qualité de l'eau. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. Crée par décret N° 81/167 du 25 juillet 1981-Compte Trésorerie d'Alger N° 402.003.221.

Price W.A., 2003. Challenges posed by metal leaching and acid rock drainage at closed mines. Environmental Aspects of Mine Wastes. Mineralogical Association of Canada. 17p.

-R-

Ramade, F., 1998. Dictionnaire encyclopédique des Sciences de l'eau. Ediscience international. Paris. 750 p.

Ramade F., 2000. Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Ediscience international. Paris. 690 p.

Ramade F., 2002. Dictionnaire encyclopédique d'écologie et de science de l'environnement. 2ème édition DUNOD. pp: 561-562, 609.

Ramade F., 2003. Elément d'écologie fondamental. Ediscience international. DUNOD. Paris. pp:99.

Ramade F., 2008. Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité. DUNOD. Paris. pp: 216, 239, 555.

Razowska L., 2001. Changes of ground water chemistry caused by the flooding of iron mine (Czestochowa Region, Southern Poland). Journal of Hydrology. Vol 244. pp: 17-32.

Rejesk F., 2000. Analyse des eaux, Aspects règlementaires et techniques. Edition CRDP d'aquitaine. Se Scren France. 358 p.

Rodier J., 1984. Analyses chimiques et physiques de l'eau. Edition DUNOD. Paris.

Rodier J., 1996. Analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mers. DUNOD. Paris. pp: 125.

Rodier J., 2005. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mers. 8ème édition DUNOD. Paris. 1365p.

Rodier J., Legube B., Merlet N *et coll.*, 2009. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mers, 9ème édition, DUNOD, Paris. 1383 P.

Rose A.W., Cravotta C.A., 1998. Geochemistry of coal-mine drainage. In: Coal Mine Drainage Prediction and Pollution Prevention in Pennsylvania: Harrisburg. Brady K.B., Smith M.W., Schueck J. Pennsylvania Department of Environmental Protection.5600-BK-DEP2256. pp: 1.1-1.22.

-S-

Savary P., 2003. Guide des analyses de la qualité de l'eau. Techni. Cités. 244p.

Savary P., 2010. Guide des analyses de la qualité de l'eau. Dossier d'expert. Editions Technique. 264p.

Somé K., Dembele Y., Some L., Millogo R.J., 2008. Pollution agricole des eaux dans le bassin du Nakanbe : cas des réservoirs de Loumbila et de Mogtedo au Burkina Faso. Sud Sciences et Technologies. N° 16. pp : 14-22.

-T-

Tanouayi G., Gnandi K., Ahoudi H., Ouro-sama K., 2015. La contamination métallique des eaux de surface et des eaux souterraines de la zone minière d'exploitation des phosphates de Hahotoe-kpogame (sud-togo) : cas du cadmium, Plomb, cuivre et nickel. Larhyss Journal. N°21 .ISSN 1112-3680.pp : 25-40.

Site internet:

Google Earth, 2016. www.Google Earth. Com

Annexes

Annexe I : Courbes d'étalonnage

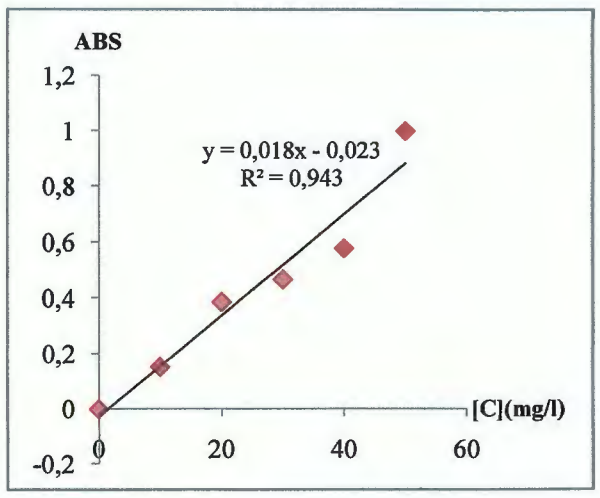


Figure 16: Courbe d'étalonnage des sulfates

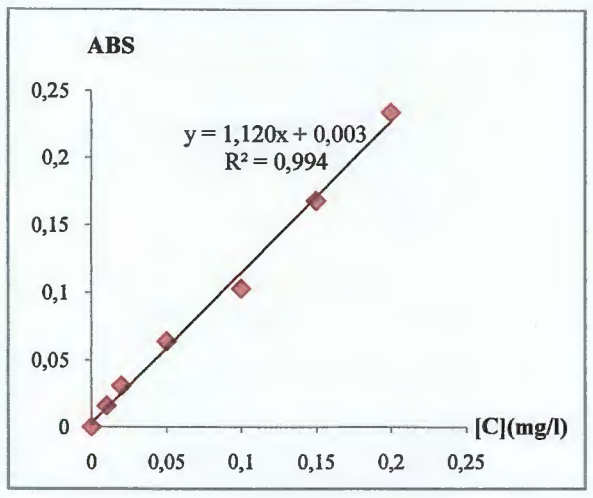


Figure 17: Courbe d'étalonnage d'ammonium

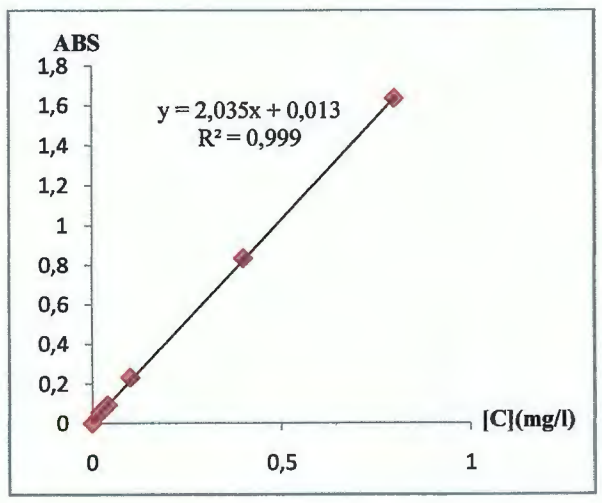


Figure 18: Courbe d'étalonnage des nitrites

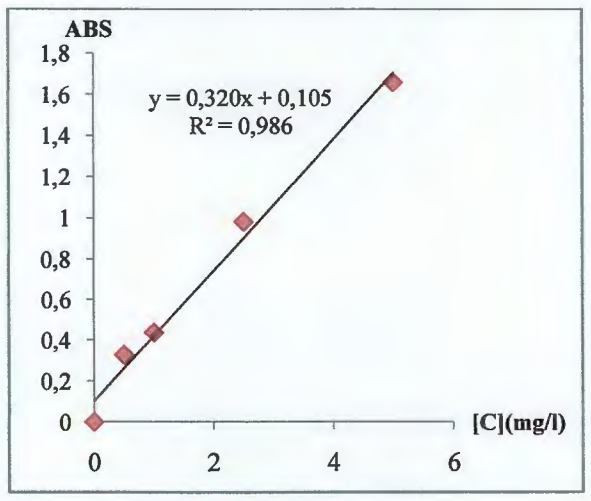


Figure 19: Courbe d'étalonnage des nitrates

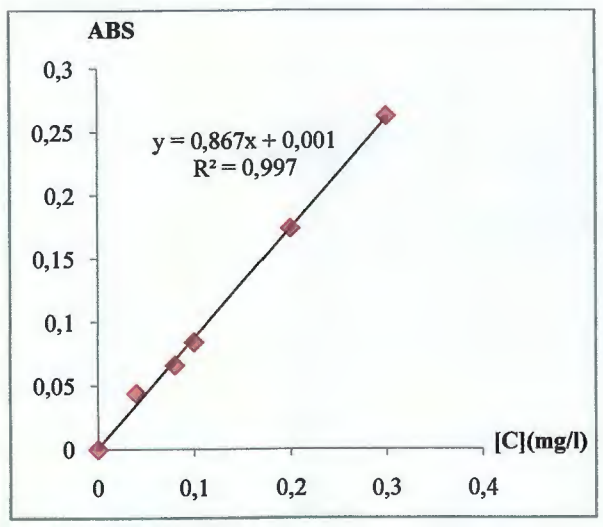


Figure 20: Courbe d'étalonnage des ortho-phosphates

Annexe II : Analyses statistiques

1- Matrice de corrélation

Il existe une corrélation significative lorsque $p > 0,94$.

	T	pH	CE	Cl^-	SO_4^{2-}	DBO_5	DCO	NH_4^+	NO_3^-	NO_2^-	PO_4^{3-}
T	1,000										
pH	-0,966	1,000									
CE	0,956	-0,977	1,000								
Cl^-	-0,635	0,753	-0,833	1,000							
SO_4^{2-}	0,942	-0,967	0,998	-0,856	1,000						
DBO_5	0,744	-0,751	0,872	-0,900	0,894	1,000					
DCO	0,670	-0,630	0,778	-0,797	0,803	0,976	1,000				
NH_4^+	-0,945	0,962	-0,998	0,848	-0,999	-0,900	-0,816	1,000			
NO_3^-	0,896	-0,827	0,911	-0,717	0,917	0,922	0,918	-0,929	1,000		
NO_2^-	-0,634	0,752	-0,832	0,999	-0,855	-0,900	-0,797	0,848	-0,717	1,000	
PO_4^{3-}	-0,985	0,920	-0,893	0,496	-0,873	-0,644	-0,583	0,878	-0,854	0,494	1,000

2-Analyse de la variance

Tableau 09: Analyse de la variance de la T° de l'eau

Analysis of Variance Table
Response: T

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
trait1	3	20.444	6.8146	13.264	0.01516	*
Residuals	4	2.055	0.5137			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tableau 10 : Analyse de la variance du pH de l'eau

Analysis of Variance Table
Response: pH

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
trait1	3	25.0189	8.3396	70.668	0.000639	***
Residuals	4	0.4721	0.1180			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tableau 11 : Analyse de la variance de la CE de l'eau

Analysis of Variance Table
Response: CE

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
trait1	3	7.5984	2.53281	54.396	0.001065	**
Residuals	4	0.1863	0.04656			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tableau 12: Analyse de la variance de la DBO_5 dans l'eau

Analysis of Variance Table
Response: DBO_5

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
trait1	3	205	68.333	91.111	0.0003882	***
Residuals	4	3	0.750			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tableau 13: Analyse de la variance de la DCO dans l'eau

Analysis of Variance Table
Response: DCO

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
trait1	3	513.66	171.22	67.944	0.0006901	***
Residuals	4	10.08	2.52			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tableau 14: Analyse de la variance des chlorures dans l'eau

Analysis of Variance Table
Response: Cl^-

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
trait1	3	51985	17328.4	11.579	0.01929	*
Residuals	4	5986	1496.5			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tableau 15 : Analyse de la variance des sulfates dans l'eau

Analysis of Variance Table
Response: SO_4^{2-}

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
trait1	3	203998	67999	29.106	0.003545	**
Residuals	4	9345	2336			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tableau 16 : Analyse de la variance d'ammonium dans l'eau

Analysis of Variance Table
Response: NH_4^+

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
trait1	3	14.5107	4.8369	48.895	0.00131	**
Residuals	4	0.3957	0.0989			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tableau 17 : Analyse de la variance des Nitrates dans l'eau

Analysis of Variance Table
Response: NO_3^-

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
trait1	3	2977.76	992.59	456.09	1.592e-05	***
Residuals	4	8.71	2.18			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tableau 18 : Analyse de la variance des Nitrites dans l'eau

Analysis of Variance Table
Response: NO_2^-

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
trait1	3	0.57285	0.190950	331.44	3.006e-05	***
Residuals	4	0.00230	0.000576			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tableau 19 : Analyse de la variance des Orthophosphates dans l'eau

Analysis of Variance Table
Response: PO_4^{3-}

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
trait1	3	29.0386	9.6795	360.5	2.543e-05	***
Residuals	4	0.1074	0.0269			

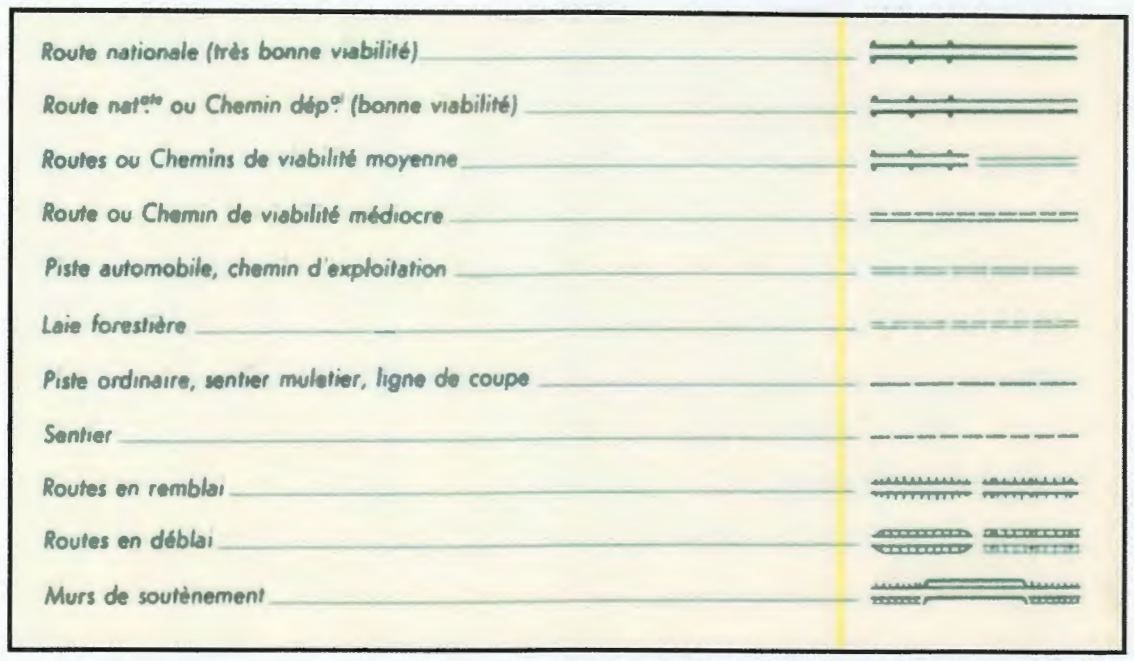
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

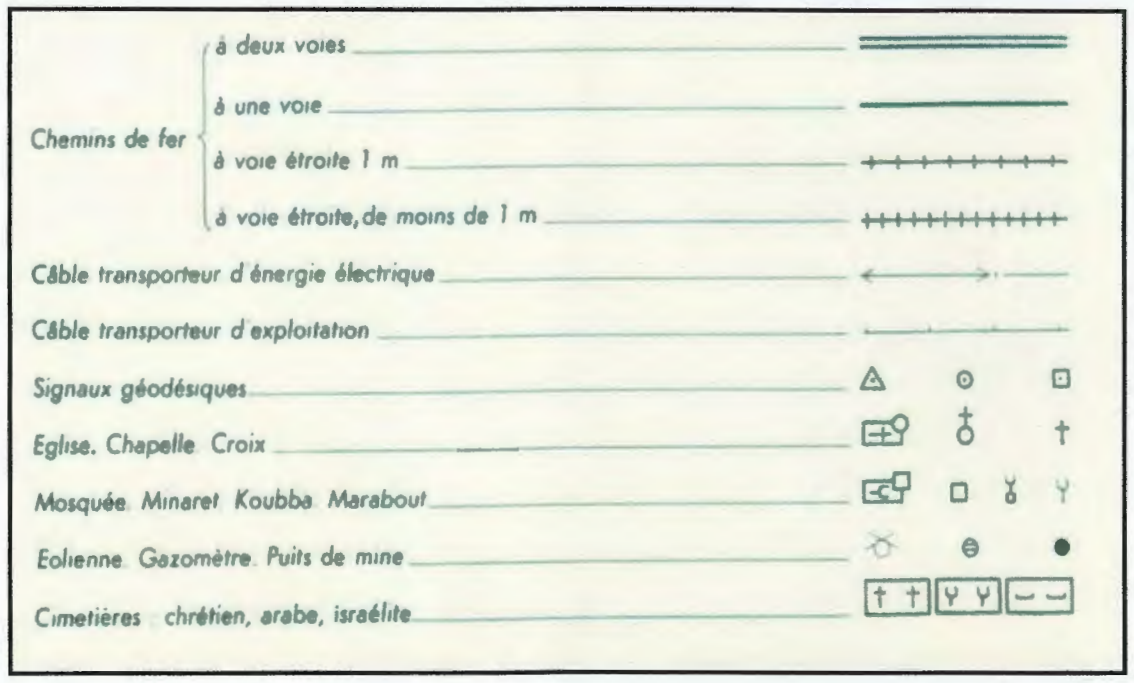
Annexe III : Normes de la qualité de l'eau

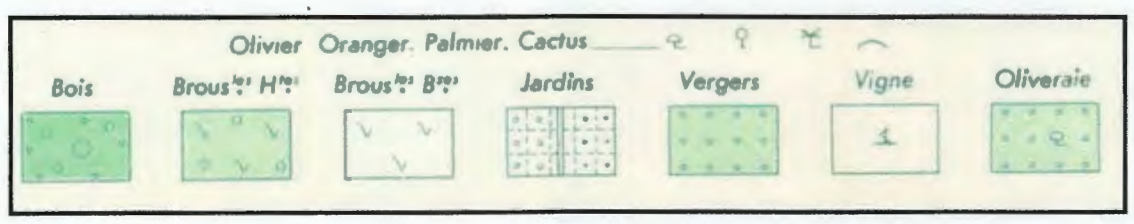
Tableau 20: Norme provisoire algérienne de la qualité de l'eau **(Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, 2002.** Crée par décret N° 81/167 du 25 juillet 1981-Compte Trésorerie d'Alger N° 402.003.221)

paramètre	NPA
Paramètres physico-chimiques	
pH	6,5-8,5
CE	2800 uS/cm
Minéralisation globale	
Chlorure	500 mg/l
Sulfate	400 mg/l
Analyse fine	
DCO	120 mg d'O_2/l
Paramètres de pollution organique	
Ammonium	0,5mg/l
Nitrates	50 mg/l
Nitrites	0,1mg/l
Ortho-Phosphates	0,5 mg/l

Annexe IV : Légende de la Carte topographique d'Ain Kechera 5-6







Cours d'eau (Oued)

Cours d'eau à sec

Ruisseau. Ravin sans eau

Canaux

Barrage et prise d'eau. Gué. Bac

Source (Aïn). Puits (Bir). Fontaine

Lavoir. Abreuvoir. Réservoir, Ch.^au d'eau

Aqueducs : sur le sol, sur viaduc, souterrain

Etangs : permanent, périodique

Daïa à bord défini

Daïa à bord indéfini

Falaise littorale. Marais salants

Marais. Vase

Balise. Bouée. Bouée lumineuse

Phare. Sémaphore. Bateau feu

Dunes. Sables

Courbes : intercalaire (1), sous inter.^e (2)

Courbe de cuvette (flèche dirigée vers le fond)

Limites
- d'état
- de département
- d'arrondissement
- de commune

Thème : Estimation de la qualité physico-chimique des eaux de surface au voisinage d'une mine abandonnée: cas de la mine de Boudoukha

Présenté par :

- Himrouche Kawther
- Masmoudi Hanane

Date de soutenance : 02 juin 2016

Résumé

La présente étude vise à caractériser la pollution des eaux de surface au voisinage de l'ancienne mine de Boudoukha afin d'éstimés leur qualité physico-chimique. Huit échantillons d'eau ont été prélevés et soumis à des analyses physico-chimiques (T°, pH, CE, chlorures, sulfates, DBO_5, DCO, ammonium, nitrates, nitrites et ortho-phosphates). Il ressort des résultats que ces eaux sont de moyenne à mauvaise qualité au niveau des stations 01 et 02 et de bonne voir excellente qualité pour les stations 03 et 04.

Mots-clés : eau de surface, pollution, mine de Boudoukha, qualité de l'eau, analyse physico-chimiques.

Summary

This study aims to characterize the pollution of surface waters in the vicinity of the old mine Boudoukha to assess their physical and chemical quality. Eight water samples were taken and subjected to physical and chemical analysis (T °, pH, EC, chlorures, sulfates, BOD_5, COD, ammonium, nitrates, nitrites and orthophosphates).. The results show that these waters are medium to bad quality at the stations 01 and 02 and in good to excellent quality for the stations 03 and 04

Keywords: surface water, pollution, Boudoukha mine, water quality, physic-chemical analysis.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد خصائص تلوث المياه السطحية في المنطقة المجاورة للمنجم القديم بودوخة بغرض تقييم جودتها الفيزيائيةو. ثمانية عينات من المياه اتخذت واخضعت للتحاليل الفيزيائية والكيميائية (درجة الحرارة، درجة الحموضة، الناقلية الكهربائية، الكلوريد، الكبريتات، DBO_5 ، DCO ،الأمونيوم، النترات، النتريت، الفوسفات). وأظهرت النتائج أن هذه الميه متوسطة إلى رديئة النوعية في المحطات 01 و 02 وذات نوعية جيدة إلى ممتازة بالنسبة للمحطات 03 و 04 .

الكلمات المفتاحية : المياه السطحية، التلوث، منجم بودوخة، نوعية المياه، التحاليل الفيزيائية و الكيميائية.