

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU Faculté Des Sciences Biologiques Et Des Sciences Agronomiques Département De Sciences De La Terre Et De L'univers



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master en Sciences de la Terre et de l'Univers

Option : Ressources Minérales et Environnement

Thème

CARACTERISATION ENVIRONNEMENTALE DES REJETS MINIERS DES MINES DE AÏN-KECHERA (SKIKDA) CAS DE LA MINE ABANDONNEE DE SIDI-KAMBER

Encadré par :

Mr. ISSAAD Mouloud

<u>Réalisé par :</u>

BOUDIAF Sid Ali MANSOURI Ahlam

Soutenu le : 04.07.2017 Devant le jury composé de :

Mr. HAMIS, A. : Mr. SAMI, L. :

Maître de Conférences, U.M.M.T.O.

Maître Assistant, U.M.M.T.O.

Mr. ISSAAD, M. : Maître Assistant, U.M.M.T.O.

Promotion : 2016/2017

Président. Examinateur. Rapporteur.



UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU Faculté Des Sciences Biologiques Et Des Sciences Agronomiques Département De Sciences De La Terre Et De L'univers



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master en Sciences de la Terre et de l'Univers

Option : Ressources Minérales et Environnement

Thème

CARACTERISATION ENVIRONNEMENTALE DES REJETS MINIERS DES MINES DE AÏN-KECHERA (SKIKDA) CAS DE LA MINE ABANDONNEE DE SIDI-KAMBER

Encadré par :

Mr. ISSAAD Mouloud

<u>Réalisé par :</u>

BOUDIAF Sid Ali MANSOURI Ahlam

Soutenu le : 04.07.2017 Devant le jury composé de :

Mr. HAMIS, A. : Mr. SAMI, L. :

Maître de Conférences, U.M.M.T.O.

Maître Assistant, U.M.M.T.O.

Mr. ISSAAD, M. : Maître Assistant, U.M.M.T.O.

Promotion : 2016/2017

Président. Examinateur. Rapporteur.

Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Chapitre 1 : Généralités Et Revus Bibliographique	
1.1. Introduction :	12
1.2. Généralités sur les ressources minérales de l'Algérie et l'industrie minière en Algérie : .	12
1.3. Relation entre industrie minière et environnement :	13
1.4. Les rejets miniers et le drainage minier acide :	14
1.4.1. Les rejets miniers :	14
1.4.1.1. Généralités sur les étapes de la production minière :	14
1.4.1.2. Les déchets miniers :	15
1.4.2. Description du drainage minier acide (DMA) :	17
1.4.2.1. Généralité :	17
1.4.2.2. Origine et sources du drainage minier acide :	17
1.4.2.3. Etapes de la production de DMA :	19
1.4.3. La neutralisation du DMA :	21
Chapitre 2 : Géologie Du Secteur d'Etude	
2.1. Aperçu géologique :	25
2.1.1. Géologie d'AÏN-KACHERA :	25
2.1.2. Aperçu Lithostratigraphique :	28
2.1.3. Cadre structurale :	30
2.1.4. Minéralisation de district du AÏN-KECHERA :	30
2.1.4.1. Morphogénétiques des gisements polymétaux :	30
2.1.4.2. Les gites minéraux :	30
A. Les métaux :	30
B. Non métaux :	31
2.1.5. Hydrographie et hydrogéologie :	32
2.2. Problématique :	33
2.3. Contexte local du secteur d'étude :	34
2.3.1. Cadre physico-géographique de SIDI-KAMBER :	34
2.3.1.1. Situation géographique :	34
2.3.1.2. Le relief :	34
2.3.1.3. L'affleurement de roche :	34
2.3.1.4. Climat et végétation :	36
A. Climat :	36
A.1. Les températures :	36
A.2. Les précipitations :	36
A.3. L'humidité :	37
B. Végétation :	37
2.3.1.5. Réseau hydrographique :	38
2.3.2. Contexte géologique locale :	39
2.3.2.1. Aperçu géologique :	39

2.3.2.2. Aperçu Lithostratigraphie :	41
2.3.2.3. Cadre structurale :	42
2.3.2.4. Minéralisation :	43
A. Structure et Texture :	43
B. Encaissent :	43
C. Minéralogie :	43
D. Succession para-génétique et mise en place :	43
Chapitre 3 : Moyens Et Méthodes	
3.1. Etat de la mine abandonnée de SIDI-KAMBER :	46
3.2. Prélèvement et préparation des échantillons :	51
3.2.1. Prélèvement des échantillons :	51
3.2.2. Préparation des échantillons :	51
3.3. Moyen et méthode :	52
3.3.1. Caractérisations physico-chimiques des rejets miniers :	52
3.3.1.1. Distribution granulométrique :	52
3.3.1.2. Analyse physico-chimiques :	53
A. pH :	54
B. Potentiel d'oxydo-réduction :	54
C. Conductivité électrique :	54
3.3.2. Caractérisation minéralogique :	55
3.3.2.1. Observation à la loupe binoculaire :	55
3.3.2.2. Observation au microscope optique (MO) :	55
A. Réalisation d'une lame mince :	55
B. Réalisation des sections polies :	56
B.1. Réalisation des sections polies avec les déchets miniers fins :	57
B.2. Réalisation des sections polies sur des roches solides :	58
B.3. Le polissage :	58
3.3.2.3. L'analyse par Diffraction des Rayons X (DRX) :	59
3.3.3. Caractérisation chimique :	60
3.3.3.1. L'analyse par fluorescence des rayons X, analyse (XRF) :	60
3.3.3.2. L'analyse par spectrométrie d'absorption atomique :	60
Chapitre 4 : Résultats Et Interprétations	
4.1. Granulométrie :	62
4.2. Minéralogique des sédiments :	63
4.2.1. Observation à la loupe binoculaire :	63
4.2.2. Observation au microscope optique :	65
4.2.2.1. Observation de la lame mince :	65
4.2.2.2. Observation des section polies :	67
4.3. Analyse par Diffraction des Rayons X (DRX) :	69
4.4. Analyse par fluorescence des rayons X, analyse (XRF) :	70
4.5. Analyse chimique des éléments trace métalliques (ETM) :	71
4.6. pH, Conductivité électrique et le potentiel d'oxydoréduction :	73
Conclusion Générale	76
Références Bibliographiques	78

Remerciements

Tout d'abord nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir aidé et donné le courage et la volonté pour finaliser ce modeste travail.

Nos premiers et profonds remerciements et respects s'adressent à notre promoteur Monsieur ISSAAD qui a accepté de nous diriger tout au long de la réalisation de ce mémoire et qui nous a aidé par son savoir, ses conseils, son expérience, sa rigueur dans le travail. Et un grand merci pour ses corrections et ses propositions pour avoir des données fiables. Il a mis à notre disposition son propre matériel pour la réalisation des travaux au laboratoire.

Nos remerciements vont à Monsieur HAMIS A. pour nous avoir fait le grand honneur de présider le jury, et pour son aide à la réalisation de ce mémoire, et ces encouragements durant tout notre cursus universitaire.

Nous remercions également Monsieur SAMI, L., qui a accepté de nous orienter et d'examiner ce modeste travail ainsi que pour son aide précieuse et ces orientations permanentes. Il est un enseignant remarquable, nous lui devant beaucoup de nos connaissances sur le terrain et l'exploration des ressources minérales.

Un grand remerciement pour tous les enseignants de Département des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'UMMTO, Mr. ZEGHOUANE, Mr. ABEDESLEM, Mme. IZRI,

On remercie également toute l'équipe pédagogique du Département des Sciences de la Terre et de l'Univers de TAMDA. Particulièrement l'ingénieur de labo Madame ABDERRAHMANI pour son aide à la réalisation de ce mémoire, qui nous a donné de son temps et qui a mis à notre disposition de laboratoire et le matériel nécessaire.

Nombreuses sont les personnes qui, par leurs suggestions, leur aide et leurs encouragements ont contribué à la réalisation de ce travail de près ou de loin. Nous tenons à leur exprimer notre profonde gratitude.

Nous ne voudrons pas terminer sans remercier particulièrement nos amis (promotion 2017). Nous ne pourrons oublier les moments agréables et magiques que nous avions passé ensemble.

Et encor une fois Dieu merci.

Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes très chers parents pour leurs sacrifices et leurs encouragements durant toutes mes études.

A mes deux chères sœurs, **Saïda, Karima** et son mari sans oublier mon unique et cher frère **Mohammed**.

A ma chère **KARRICHE Radia** avec qui j'ai partagé les bons et les mauvais moments durant ces trois dernières années.

Sid Ali

Dédicaces

A ma très chère mère

Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.

A mon cher père

Qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privation pour m'aider à avancer dans la vie, puisse dieu faire en sorte que porte son fruit.

A mon très cher frère Malek et ma petite sœur Lina

A mes professeurs pour leur disponibilité et conseils

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma réussite

A ma promotion RME 2016 /2017

Ahlam

°C	Degré Celsius	Na	Sodium
Α	Acidithiobacillus	Ni	Nickel
AI	Aluminium	Au	Or
ANGCM	Agence Nationale de la Géologie et du Contrôle Minier	ORGM	Office national de recherche géologique et minière
ANPM	Agence Nationale du Patrimoine Minier	Р	Phosphore
Ar	Argon	Pb	Plomb
As	Arsenic	POL	Polariseur
Са	Calcium	S	Soufre
Cd	Cadmium	S	Sud
cm	Centimètre	Sb	Antimoine
Со	Cobalt	SFX	Spectrométrie par fluorescence X
Cu	Cuivre	Si	Silicium
DMA	Drainage Minier Acide	Sn	Étain
DNC	Drainage Neutre Contaminé	Та	Tantale
DRX	Diffraction des Rayons X	Ti	Thallium
E	Est	U	Uranium
EIE	Etudes d'Impacts environnementaux	w	Tungstène
ETM	Éléments Traces Métalliques	Zn	Zinc
Fe	Fer	μm	Micromètre
g	Gramme	μS	Microsiemens
н	Hydrogène		
Hg	Mercure		
Hum	Humidité		
К	Potassium		
LPA	Lumière Polarisée Analysé		
LPNA	Lumière Polarisée Non Analysé		
m	Mètre		
mm	Millimètre	ļ	
MATET	Ministre de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement		
Mg	Magnésium		
min	Minute		
ml	Millilitre		
Mn	Manganèse]	
Мо	Molybdène		
мо	Microscope Optique]	
ms	Millisiemens		
mV	Millivolt		
N	Nord		

Liste Des Figures

Figure 1 : Carte des principales ressources minérales de l'Algérie (ORGM, 2001)	. 13
Figure 2 : Les étapes d'exploitation d'un gisement métallique et les résidus miniers corresponda (BRGM, 1997)	nts . 16
Figure 3 : Une vue d'ensemble d'une exploitation minière et les sources potentielles de product de drainage minier acide	ion . 17
Figure 4 : Les étapes de la formation du DMA (d'après AUBERTIN et al. 2002)	. 20
Figure 5 : Schéma structural de la chaîne Alpine (LAMOTTE et al., 2000)	. 25
Figure 6 : Situation du massif de la Petite Kabylie et du district d'AÏN-KACHERA dans le doma interne Maghrébin, (MAHDJOUB et MERLE, 1990)	iine . 25
Figure 7 : Carte géologique d'AÏN-KACHERA (ANGCM, 1970)	. 26
Figure 8 : Légende de la carte géologique d'AÏN-KACHERA (ANGCM, 1970)	. 27
Figure 9 : Colonne Lithostratigraphique d'AÏN KECHERA (ANGCM, 1970)	. 29
Figure 10 : Localisation géographique de la région de SIDI-KAMBER (Google Earth, 2016)	. 35
Figure 11 : Graphe de température moyenne maximale et minimale, et température moyenne l'eau pour la région de SIDI-KAMBER (meteovista, 2017)	e de . 36
Figure 12 : Histogramme de moyenne mensuelle des précipitations et des jours de précipitat pour la région de SIDI-KAMBER (meteovista, 2017)	ion . 37
Figure 13 : Graphe d'humidité moyenne par jour pour SIDI-KAMBER (meteovista, 2017)	. 37
Figure 14 : Carte montre le réseau hydrographique de SIDI-KAMBER	. 38
Figure 15 : Carte d'observation du champ métallifère de SIDI-KAMBER (SONREM) (Modifie)	. 39
Figure 16 : Carte géologique montre la tectonique de champ minier de SIDI-KAMBER (SONRE 1970, Modifie)	EM, . 42
Figure 17 : Carte géologique de champ minier de SIDI-KAMBER (SONREM, 1970, Modifie)	. 44
Figure 18 : Photo satellitaire de SIDI-KAMBER (Google Earth, 2017)	. 46
Figure 19 : Photo montre l'état de l'usine du traitement (La laverie) (2017)	. 47
Figure 20 : Photo montre les constructions occupées par les habitants (2017)	. 47
Figure 21 : Photo satellitaire de site minier de SIDI-KAMBER (Google earth, 2017)	. 48
Figure 22 : Photo satellitaire de déchet minier de SIDI-KAMBER (Google earth, 2017)	. 48
Figure 23 : Photos montrent l'état actuel des rejets miniers de la mine abandonnée (2017)	. 49
Figure 24 : Photo montre la contamination des eaux d'oued Essouk, (CHAGUER Mounia, 2013)	. 50
Figure 25 : Photo montre la contamination des eaux d'oued ESSOUK, (ISSAAD, M., 2015)	. 50
Figure 26 : Photos de l'ensembles de matérielles utilisé au laboratoire	. 52
Figure 27 : Photos de tamiseuse vibrante type Retsch AS 200 Basic	. 53

Figure 28 : Photo montre les solutions préparées pour les mesures	53
Figure 29 : Photo de l'ensemble de pH mètre utilisé	54
Figure 30 : Photo de conductimètre type HANNA HI 98311	54
Figure 31 : Photo de loupe binoculaire utilisé pour l'étude	55
Figure 32 : 1. Photo de l'échantillon SK, 2. La lame mince réalisé à partir de l'échantillon SK	56
Figure 33 : Photo de microscope optique analyseur de type Motic BA310 POL	56
Figure 34 : 1. La résine utilisée pour la réalisation des sections polies (GRANITEX). 2. Un moul la tamiseuse	e sur 57
Figure 35 : Photos des sections polies couléer dans des moules en aluminium	57
Figure 36 : Photos des sections polies réalisées à partir des déchets miniers	57
Figure 37 : Photos des sections polies réalisés à partir des Haldes a stériles	58
Figure 38 : Photo montre une étape de polissage pratique sur les échantillons	58
Figure 39 : Photo de microscope métallographique de type ZEISS	59
Figure 40 : Photo de l'ensemble du spectromètre d'absorption atomique VARAIN AA240	60
Figure 41 : Distribution granulométrique des rejets de la mine abandonnée de SIDI-KAMBER	63
Figure 42 : Diagramme de comparions entre les 2 rejets miniers fin et grossie de SIDI-KAMBER .	63
Figure 43 : Photos montrent les éléments de déchet miner sous une loupe binoculaire	64
Figure 44 : Photo macroscopique de l'échantillon SK et vue en lame mince	65
Figure 45 : Photo microscopique montre la Biotite en LPNA et LPA	65
Figure 46 : Photo microscopique montre l'Orthose et le Microcline en LPA	66
Figure 47 : Photo microscopique montre l'Quartz en LPA et LPNA	66
Figure 48 : Photo microscopique montre la Pyrite très altérée	67
Figure 49 : Photo microscopique montre la Galène très altérée	68
Figure 50 : Photo microscopique montre la Pyrite et Galène	68
Figure 51 : Photo microscopique montre la Sphalérite très altérée associée à la Galène	69
Figure 52 : Représentation graphique de pourcentage des minéraux dans l'échantillon DSK 2	69
Figure 53 : Histogramme des pourcentages des éléments chimique dans les échantillons	70
Figure 54 : Représentation graphique des teneurs de Plomb et le Zinc en %	71
Figure 55 : Représentation graphique des teneurs de Fer en %	71
Figure 56 : Représentation graphique des teneurs de Cuivre en %	72
Figure 57 : Nuages de points de conductivité par rapport au pH	73
Figure 58 : Nuages de points de Redox par rapport au pH	74

Liste Des Tableaux

Tableau 1 : Principales différences entre une aire d'entreposage génératrice d'eaux acides, pour lesmines en opération et les sites abandonnés 15
Tableau 2 : Principaux minéraux sulfureux susceptibles de se retrouver dans les rejets miniers (tiré d'AUBERTIN et al., 2002a) 18
Tableau 3 : Etapes de la production du DMA (AUBERTIN et al. 2002a) 19
Tableau 4 : Caractéristiques générales des eaux de drainage acide produites par les haldes destériles (tiré de RITCHIE, 1994)20
Tableau 5 : Principales bactéries et Archae spp associées à l'oxydation des sulfures et du fer que l'onpeut retrouver dans les rejets miniers générateurs d'acide (Adapté de EPA, 1994 et BLOWES et al.,2003)21
Tableau 6 : Réactivités relatives de différents sulfures (tiré de VILLENEUVE, 2004, adapté de JAMBOR, 1994) 21
Tableau 7 : Principaux minéraux neutralisants susceptibles d'être retrouvés dans les rejets miniers(tiré d'AUBERTIN et al., 2002a)22
Tableau 8 : Les complexes aquifères dans la région AÏN-KECHERA (Notice de AÏN-HECHERA (SONAREM)) 32
Tableau 9 : Température moyenne maximale et minimale (°C), et Température moyenne de l'eau(°C) pour la région de SIDI-KAMBER (meteovista, 2017) 36
Tableau 10 : Moyenne mensuelle des précipitations (mm) et des jours de précipitation pour larégion de SIDI-KAMBER (meteovista, 2017)37
Tableau 11 : Caractéristiques des filons du gisement de SIDI-KAMBER. (Rapport SONAREM, 1966- 1967)
Tableau 12 : Tableau des textures des échantillons prélevés dans la région de SIDI-KAMBER
Tableau 13 : Réactivité des minéraux neutralisants (Adapté de SVERDRUP, 1990)
Tableau 14 : Résultats d'analyse par fluorescence des rayons X exprimés en pourcentage (%) 70
Tableau 15 : Tableau de Résultats des analyses chimiques des échantillons de sol
Tableau 16 : Tableau de comprissent entre les résultats des analyses chimiques des rejets de SIDI-KAMBER et la norme de BOWEN et BAIZE 72
Tableau 17 : Tableau de résultat des analyses de pH, Rédox et conductivité
Tableau 18 : Conductivité de différences sources d'eau (AQUATECHNIQUE, 2003)

Chapitre 1

Généralités et Revues Bibliographiques

1.1. Introduction :

L'Algérie renferme un grand nombre de gîtes minéraux qui peuvent offrir à l'industrie des ressources très-variées. Certains d'entre eux sont exploités en ce moment et donnent des bénéfices très considérables (Fer et Phosphates). D'autres, malheureusement en très grand nombre, ont été l'objet de tentatives d'exploration ou d'exploitation qui ont été abandonnées, par suite du faible rendement économique de l'extraction du minerai. D'autres, enfin sont encore vierges de tout travail géologique.

La variété des richesses métallifères de l'Algérie est évidente, le fer, le phosphate, le cuivre, le plomb, l'argent, le zinc, l'antimoine, le tungstène, le mercure, le sel s'y trouvent en abondance. Enfin, il est utile de faire connaître les ressources minières du sous-sol de l'Algérie ; car cette industrie serait appelée à prendre un développement très considérable, si elle était vivifiée par des capitaux suffisants (VILLA, M., 1869).

1.2. Généralités sur les ressources minérales de l'Algérie et l'industrie minière en Algérie :

L'Algérie est située au Nord-Ouest du continent Africain sur la rive Sud de la méditerranée. De sa position géographique et son immense superficie qui couvre 2 381 741 Km², elle englobe plusieurs régions naturelles qui contienne plusieurs types de richesses métallifères qui sont autant de domaines géologiques différents par leurs contenus minéralogiques et leurs étendues. Les ressources minières de l'Algérie se concentrent beaucoup plus dans : La chaine tellienne au Nord, Le massif de l'Eglab et de l'Ougarta au Sud-Ouest et le massif du Hoggar au Sud.

La région géologique du Nord de l'Algérie représente une grande zone minière qui se situe dans la zone de l'Atlas tellien et qui englobe les massifs Kabyles et l'Edough. Cette importante zone minière a un socle constitué de reliefs escarpés et de plaines littorales qui longent toute la façade méditerranéenne.

Les massifs Kabyles captent d'importants gites des minerais qui offrent une association atypique de Plomb mélangé naturellement avec le Zinc, ainsi que d'autres associations atypiques de minerais de Cuivre, de Pyrite, de Fer, de Baryum, d'Arsenic, d'Antimoine, de Mercure, de Nickel, d'Argent et d'Indium.

Plus au Sud de cette région minière du Nord de l'Algérie, on trouve d'importants gisements de minerais de Zinc, de Plomb, de Cadmium, de Galène, de Germanium, de Pyrite, de terres rares, de Cuivre, d'Antimoine et de Mercure.

La région des Eglab appartient au Craton Ouest-Africain qui est dominé par la dorsale Reguibat qui pointe au Nord et qui forme un axe cristallin du Sud-Ouest au Nord-Est de l'Algérie. Cette zone minière englobe les gisements des bassins de Tindouf (Fer), qui se situent au Nord, et les gisements de Taoudéni, qui se situent au Sud de l'Algérie. Son socle géologique est constitué de Quartzites fins noirs injectés de lentilles de Quartz et d'un complexe Rhyodacitique, de Schistes et de Phyllades injectés aussi de lentilles de Quartz, de Micaschistes, de Gneiss et de Migmatites.

La Sahara Algérien comprend une importante zone minière qui forme une longue suite de reliefs et occupe une grande superficie de l'Algérie. Le massif des Eglab, à l'Ouest, et le massif du Hoggar à l'Est qui contient plusieurs gisements, TIREK et AMESSMESSA (Au), TIRIRINE (Au), NAHDA et BACHIR (W), TIN-AMZI (W-Sn), TIMGAOUINE-ABANKOR (U) et EBELEKAN (Ta-Na). Cette zone minière est très riche en gisements onshore de pétrole et de gaz naturel (BEYLARD David, 2009).

Généralités et revues bibliographiques



Figure 1 : Carte des principales ressources minérales de l'Algérie (ORGM, 2001).

1.3. Relation entre industrie minière et environnement :

L'industrie minière rejette plusieurs milliers de tonnes de stériles et de résidus chaque année. La majeure partie de ces rejets provient de l'exploitation des minerais desquels sont extraits les substances utiles (Pb, Au, Zn, Fe, Cu, Ar, Ca, etc...). Ces résidus miniers, une fois exposés à l'air et à l'eau, subissent des phénomènes d'oxydation qui mobilisent certains métaux lourds, tels que le Fer, le Zinc, le Plomb, le Cadmium, le Manganèse, etc. Le lessivage de ces métaux lourds aboutit à la formation d'eaux et d'effluents acides qui peuvent constituer des sources de pollution des eaux superficielles et du réseau hydrographique et de sols (KEITA Seydou, 2005).

Dans les mines exploitant des gisements sulfurés, les rejets miniers peuvent poser d'importants problèmes environnementaux à cause de la haute réactivité des minéraux sulfurés (comme la Pyrite). L'action conjointe de la percolation des eaux de pluie sur ces sulfures, associée à la diffusion du Dioxygène de l'air, peut engendrer la libération dans les effluents d'importantes

Chapitre 1 :

quantités de métaux lourds, accompagnées selon les cas d'une acidification du milieu (AUBERTIN et al., 2002 ; LOWSON, 1982 ; MEND, 2004). On parle de drainage minier acide (DMA) si l'acidification a lieu, et de drainage neutre contaminé (DNC) dans les cas où les eaux de drainage demeurent proches de la neutralité (6 < pH < 9). Dans les deux cas, les éléments polluants relargués sont variés : il peut s'agir de métaux comme l'Aluminium, le Cobalt, le Cuivre, le Fer, le Manganèse, le Nickel ou le Zinc, ou de métalloïdes comme le Sélénium, le Molybdène ou l'Arsenic (COUSSY Samuel, 2011).

La production de déchets solides industriels en Algérie a dépassé actuellement les 1240000 t/an, dont 40 % sont considérés comme toxiques et dangereux (BOUABDESSELAM, H., LIAZID, A., BOUZIDI, Y., 2005).

Les activités minières en Algérie sont réglementées par la loi n°01-10 du 03 juillet 2001 Portant loi minière, dont la mise en œuvre et assurée par trois organes : L'agence Nationale Du Patrimoine Minier, (ANPM) et l'Agence Nationale De La Géologie Et Du Contrôle Minier (ANGCM). Parmi les missions principales de cette dernière on peut noter le contrôle administratif et technique de l'exploitation minière. Cette loi stipule l'élaboration d'une étude d'impacts sur l'environnement (EIE) approuvée par le Ministère De l'Environnement Et De l'Aménagement Du Territoire (MATET) et dont le plan de gestion environnementale (PEG) fait partie intégrante.

1.4. Les rejets miniers et le drainage minier acide :

1.4.1. Les rejets miniers :

1.4.1.1. Généralités sur les étapes de la production minière :

L'exploitation d'un gisement minier peut être effectuée soit à ciel ouvert où en galerie souterraines, en fonction de la typologie du gisement d'intérêt et de sa teneur. Dans les deux cas, après le stade de minage, des blocs de roches stériles (minerai jugé non économiquement rentable selon la teneur de coupure) sont séparés du minerai à valeur économique (SRACEK, O. et al., 2004). Les stériles miniers sont généralement stockés en surface, et empilés sous forme de haldes à stérile (RITCEY, G.M., 2005). La deuxième étape de l'opération minière correspond aux procédés de traitement du minerai pour obtenir un concentré riche en espèces minérales de valeur (Minéraux industriels, métaux de base ou métaux précieux, etc...). Ces procédés minéralurgiques se définissent comme un « traitement de matières minérales brutes ayant pour objet d'obtenir par voie physique, chimique ou thermique des produits directement utilisables par l'industriel ou transformables par le métallurgiste » (BLAZY et JOUSSEMET, 2005). En pratique, cette étape fait intervenir des phases de broyage et de classification granulométrique, pour atteindre la maille de libération de minerai, suivi par une étape de séparation. La séparation des espèces minérales entre elles peut être effectuée de différentes manières : la concentration par gravité permet par exemple de séparer les espèces minérales selon leur densité. À ces procédés de séparation physique peuvent se rajouter des traitements physicochimiques, comme la flottation, très utilisée pour la concentration des minerais polymétalliques. La flottation permet de séparer les minéraux en fonction de leurs propriétés de surface différentes dans une solution aqueuse et dans l'air (BLAZY et JDID, 2000 ; WILLS, 2006).

Toutes ces techniques de séparation génèrent d'une part un concentré de l'espèce minérale ou du métal d'intérêt, et d'autre part un important tonnage de résidus minéraux, appelé rejet de concentrateur. Ce rejet, sous forme de pulpe (mélange d'eau de procédé et de matière solide fine), est conventionnellement entreposée en surface, dans des parcs à résidus (BUSSIERE et al., 2005). Une caractéristique commune à tous les résidus miniers (stériles et rejets de concentrateurs) est leur volume important, notamment à cause du foisonnement obtenu durant les opérations minières (RITCEY, 2005). Le stockage à l'air libre de ces résidus miniers peut générer plusieurs types de problèmes, selon le potentiel polluant de ceux-ci et les conditions climatiques spécifiques du site d'entreposage.

Caractéristiques	Sites en opération	Sites abandonnés
Eaux interstitielles contaminées	Peu	Fortement
Présence de bactéries acidophiles	Peu	Oui
Infrastructures étanches	Oui en général	Non en générale
Présence de système de traitement d'eau	Oui	Oui

Tableau 1 : Principales différences entre une aire d'entreposage génératrice d'eaux acides, pourles mines en opération et les sites abandonnés.

Dans certains cas, les particules fines peuvent être dispersées par l'érosion et le vent (NRIAGU et al., 1998), dans d'autres cas les sites d'entreposage peuvent poser des problèmes de stabilité géotechnique (VICK, 1990). La teneur en eau élevée dans les rejets de concentrateur génère des pressions interstitielles importantes dans les digues de rétention et peuvent être à l'origine de leur rupture (VICK, 1990). Cependant, c'est véritablement l'interaction entre les rejets de concentrateur, l'eau météorique et l'oxygène atmosphérique qui pose les problèmes environnementaux les plus critiques, avec des impacts directs sur la faune et la flore du milieu environnant (COUSSY Samuel, 2011).

1.4.1.2. Les déchets miniers :

Les déchets miniers peuvent être définis comme tout produit ou dépôt qui résulte de la recherche et de l'exploitation minière ou du traitement du minerai. Ces résidus peuvent être des produits naturels (stériles francs, produits minéralisés non exploitables) ou des produits artificiels, issus des phases de traitement et d'enrichissement du minerai (rejets de laverie) contenant d'éventuels additifs chimiques, minéraux ou organiques, ou générés lors d'une étape de fusion métallurgique (BRGM, 1997).

Près de 90 % des matériaux excavés d'une mine correspondent à des résidus solides généralement disposés en surface. L'intégrité des ouvrages de stockage et les matériaux qu'ils contiennent constituent aujourd'hui un des enjeux majeurs des phases de fermeture et post-fermeture d'une mine (ARTIGNAN, D., COTTARD, F., 2003).

Comme nous le verrons, la nature et l'importance des éventuels impacts qu'un déchet minier peut avoir sur l'environnement seront en fonction de :

- Sa quantité totale ;
- Ses caractéristiques chimiques et minéralogiques ;
- Ses caractéristiques physiques ;
- La méthode de stockage et sa localisation dans un contexte environnemental donné.

Ces différents aspects sont fortement influencés par les caractéristiques de la mine ellemême, et en particulier par :

- La substance exploitée ;
- La nature du gisement (types de minéralisation primaire et secondaire) ;
- La taille et la méthode d'exploitation utilisée ;
- Les caractéristiques des roches encaissantes ;
- Les procédés de traitement du minerai employés et les réactifs utilisés ;
- Sa localisation dans un contexte environnemental particulier (hydrogéologique, hydrologique, physiographique...).

Chacune des étapes d'exploitation présentée dans la figure 2 peuvent être génératrice de résidus miniers, généralement de caractéristiques physiques et chimiques, donc d'impact environnemental potentiel, très différentes. Leurs volumes respectifs, surtout en ce qui concerne les résidus de découverture, seront aussi en fonction du type d'exploitation (mine à ciel ouvert, mine souterraine) et leur composition chimique variera en fonction de la substance exploitée et la nature du gisement (ARTIGNAN, D., COTTARD, F., 2003).

Nous pouvons classer les principaux types de résidus miniers en quatre grands groupes (ARTIGNAN, D., COTTARD, F., 2003) :

- Les stériles francs de découverture et/ou de traçage de galerie ;
- Les résidus d'exploitation (stériles francs et/ou stériles de sélectivité minéralisés) ;
- Les Résidus De Traitement (Rejets De L'usine De Concentration) ;
- Les Autres Résidus (Scories De Grillage Ou De Fusion Du Minerai).



Figure 2 : Les étapes d'exploitation d'un gisement métallique et les résidus miniers correspondants (BRGM, 1997).

1.4.2. Description du drainage minier acide (DMA) :

1.4.2.1. Généralité :

Le drainage minier acide est un phénomène bien connu et maintenant bien documenté qui peut survenir dans les installations d'extraction minière de Charbon, de métaux précieux, de métaux de base ou d'Uranium.

Ce phénomène, d'abord identifié aux États-Unis, au Canada et en Australie, est aujourd'hui l'un des problèmes environnementaux les plus importants auxquels l'industrie extractive doit faire face pour éviter les risques de pollution dans les zones minières.

Heureusement, la recherche dans le domaine de l'environnement minier a défini plusieurs voies et solutions de maîtrise, de prévention, de correction ou d'atténuation du DMA. Une importante littérature sur le sujet a été produite dans le cadre d'un programme de recherche initié par le centre Canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie. Ce programme, appelé NEDEM (Neutralisation des Eaux de Drainage dans l'Environnement Minier), a diffusé des documents techniques très pratiques qui ont permis aux pays miniers émergeant, comme le Mali, d'avoir une meilleure connaissance sur le phénomène de drainage dans l'industrie minière (KEITA Seydou, 2005).

1.4.2.2. Origine et sources du drainage minier acide :

Un grand nombre de minerais métallifère appartient à la famille des sulfures qui constituent un groupe important de minéraux naturels. Lorsque ces sulfures sont exposés à l'oxydation, le souffre est libéré et forme des ions sulfates, qui, à leur tour, lorsque mis en solution dans l'eau formeront de l'acide sulfurique (MORIN).



Figure 3 : Une vue d'ensemble d'une exploitation minière et les sources potentielles de production de drainage minier acide.

Chapitre 1 :

Les résidus sulfureux se trouvent dans les haldes de stérile et surtout dans les résidus après les premières étapes d'exploitation et de concassage de minerai brut. Les résidus existent également dans les excavations, les zones d'emprunt et dans les roches encaissantes au niveau de la carrière de mine. Le drainage minier acide (DMA), une fois déclenchée (démarrage de la réaction d'oxydation,) est impossible à stopper et pourra se poursuivre bien longtemps après que la mine aura cessées opérations, probablement pendant plusieurs centaines d'années. Il s'agit là d'un impact potentiellement irréversible à l'échelle humaine (KEITA Seydou, 2005).

Elément Chimique	Minéral	Formule Chimique	
Fe	Greigite Marcassite Pyrite Pyrrhotite Troilite	Fe ₃ S ₄ FeS ₂ FeS ₂ Fe _(1-X) S FeS	
Cu	Bornite Chalcopyrite Chalcosite Covellite Cubanite Enargite Tennantite	Cu ₃ FeS ₄ CuFeS ₂ Cu ₂ S CuS CuFe ₂ S ₃ Cu ₃ AsS ₄ Cu ₂ As ₂ S ₁₃	
Ni	Pentlandite Millérite Violarite	(Fe, Ni) ₉ S ₈ NiS FeNi ₂ S4	
Zn	Sphalérite Wurtzite	ZnS ZnS	
Pb Mo Sb	Galène Molybdénite Stibnite	PbS MoS ₂ Sb ₂ S ₃	
Co Cd Hg	Cobaltite Linnaeite Greenockite Cinabre	CoAsS Co₃S₄ CdS HgS	
As	Arsénopyrite Orpiment Proustite Réalgar	FeAsS As ₂ S ₃ Ag ₃ AsS ₃ AsS	
Mn	Alabandite Hauerite	MnS MnS2	

Tableau 2 : Principaux minéraux sulfureux susceptibles de se retrouver dans les rejets miniers(tiré d'AUBERTIN et al., 2002a).

1.4.2.3. Etapes de la production de DMA :

La production de DMA s'initie et évolue selon les étapes décrites par (KLEINMANN et al. 1981). En se basant sur des essais de lixiviation de minerais ainsi que sur l'étude de cas réels, ces auteurs définissent trois étapes dans la production de DMA. Le Tableau 3 et la Figure 4, présentent un résumé des différentes réactions de formation du DMA. Le processus de la réaction se produit selon une séquence dépendant de l'activité bactérienne et des conditions de pH de la lixiviation.

Réaction 1) $FeS_2(s) + \frac{7}{2}O_2 + H_2O \rightarrow Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 2H^+ + énergie$ 2) $Fe^{2+} + \frac{1}{4}O_2 + H^+ \rightarrow Fe^{3+} + \frac{1}{2}H_2O + \text{énergie}$ **3)** $Fe^{3+} + 3H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 + 3H^+ + énergie$ 4) $FeS_2(s) + 14Fe^{3+} + 8H_2O \rightarrow 15Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 16H^+ + énergie$ Etapes Mécanismes Effluents pH > 4,5Réaction 1 : Chimique et biologique [SO₄²⁻] élevée I Réaction 2 : Chimique ralentit quand le pH baisse [Fe] faible Acidité faible ou nulle pH de 2,5 à 4,5 Réaction 1 : Chimique et biologique [SO₄²⁻] élevée 11 Réaction 2 : Taux déterminé par l'activité bactérienne [Fe] et acidité augmentent Fe³⁺/Fe²⁺ faible pH < 2,5[SO42-] élevée Réaction 3 : Contrôlée biologiquement Ш Réaction 4 : Au taux lié à celui de la réaction 3 [Fe] et acidité élevée Rapport Fe³⁺/Fe²⁺ élevé

Tableau 3: Etapes de la production du DMA (AUBERTIN et al. 2002a).

Étape I : À cette étape, l'oxydation de la pyrite se fait par voie chimique et biologique. La production d'acidité provient de l'oxydation des sulfures en sulfates (Réaction 1) et l'hydrolyse du fer ferrique (Réaction 2).

L'oxydation du fer ferreux (Réaction 3) se fait principalement par voie chimique à cette étape. À ce point, l'acidification peut être arrêtée par l'ajout d'alcalinité au système.

Étape II : Cette étape est initiée par le ralentissement de l'oxydation chimique du fer ferreux causée par la baisse du pH et sa substitution par l'oxydation biologique qui s'accélère. Le pH peut se stabiliser dans cette région si l'apport d'oxygène est diminué. Autrement, le pH continue à baisser et la production d'acidité s'accélère.

Étape III : Lorsque le pH diminue sous une valeur de 3, la solubilité du Fer augmente et moins en moins de Fe(OH)³ précipite. L'activité du Fe³⁺ augmente ainsi et contribue à oxyder la Pyrite (Réaction 4) tandis que les bactéries catalysent l'oxydation de Fe²⁺ en Fe³⁺ (Réaction 3) (Voir tableau 4). Un cycle est ainsi créé entraînant une production intense d'acidité, de sulfate et de Fer. La réaction 3 est l'étape critique du processus ; lorsqu'elle est atteinte, la production d'acidité ne peut être réduite que par le ralentissement de la réaction 3, soit en limitant l'apport d'oxygène ou en inhibant l'activité bactérienne.



Figure 4 : Les étapes de la formation du DMA (d'après AUBERTIN et al. 2002).

Le DMA peut être résumé de la manière suivante (AUBERTIN et al., 2002) :

- Minéral Sulfureux + O₂ + H₂O → Sulfate + Acidité + Métaux
- Minéral Sulfureux + Fe²⁺ + H₂O \rightarrow Sulfate + Acidité + Métaux
- Carbonate + Acide \rightarrow Sulfate + H₂O + CO₂

Propriété	Agent chimique typique	Concentration	Impact
рН	Acide sulfurique	pH de 2 à 4	Solubilisation des ions métalliques
Fer	Fe ²⁺ , Oxyde Fe ³⁺ , Hydroxydes, Jarosite	100 à 3000 mg/l	Coloration de l'eau et précipitation de sels ferreux
Métaux lourds	Cu, Mg, Zn, Cd, Hg, Ar, Rd, Pb.	1 à 200 mg/l	Réduction de la faune et de la flore aquatique et de la qualité des eaux souterraines, bioaccumulation
Sels totaux dissous	Calcium, Magnésium, Aluminium, Sulfates	100 à 30000 mg/l	Réduction de la qualité des eaux totaux Aluminium, souterraines

Tableau 4 : Caractéristiques générales des eaux de drainage acide produites par les haldes destériles (tiré de RITCHIE, 1994).

Bactéries	рН	Température (°C)	Source d'énergie
Thiobacillus thioparus	4,5-10	10-37	H ₂ S, minéraux sulfurés, S ⁰ , S ₂ O ₃ ²⁻ , S ₄ O ₆ ²⁻
Acidithiobacillus thiooxidans	1,0-6,0	10-37	S ⁰ , S ₂ O ₃ ²⁻ , S ₄ O ₆ ²⁻
T. neapolitanus	3,0-8,5	8-37	H_2S , minéraux sulfurés, S^0 , $S_2O_3^{2-}$, $S_4O_6^{2-}$
T. denitrificans	4,0-9,5	10-37	H ₂ S, S ⁰ , S ₂ O ₃ ²⁻ , S ₄ O ₆ ²⁻
T. novellus	5,0-9,2	25-35	S ₂ O ₃ ²⁻ , S ₄ O ₆ ²⁻
T. intermedius	1,0-7,0	25-35	S ⁰ , S ₂ O ₃ ²⁻ , S ₄ O ₆ ²⁻
T. perometabolis	2,8-6,8	25-35	S ⁰ , S ₂ O ₃ ²⁻ , S ₄ O ₆ ²⁻
A. ferrooxidans	1,5-6,0	10-37	Fe ²⁺ , H ₂ S, minéraux sulfurés, S ⁰ , S ₂ O ₃ ²⁻ , S ₄ O ₆ ²⁻
Leptospirillum ferrooxidans	0,5-3,0	10-37	Fe ⁺² , minéraux sulfurés
Sulfolobus acidocalderius	2,0-5,0	55-85	Fe ⁺² , S ⁰

Tableau 5 : Principales bactéries et Archae spp associées à l'oxydation des sulfures et du fer quel'on peut retrouver dans les rejets miniers générateurs d'acide.(Adapté de EPA, 1994 et BLOWES et al., 2003)

Minéraux, En Ordre De Réactivité	Conditions	Référence
Sphalérite > Galène > Chalcopyrite > Pyrite	Abiotique, calculée	SARVESWARA RAO et al. (1991)
Marcasite > Pyrrhotite > Chalcopyrite > Pyrite = Arsénopyrite	Stériles miniers	KWONG et FERGUSSON (1990)
Pyrrhotite > Chalcopyrite > Pyrite Fine > Sphalérite > Pyrite Grossière	Chapeau de fer	ANDREW (1984)
Pyrrhotite > Arsénopyrite > Pyrite > Chalcopyrite > Sphalérite > Galène	Laboratoire, pH 2-6	KAKOVSKY et KOSIKOV (1975)
Pyrite > Chalcopyrite > Galène > Sphalérite	Oxydation par l'air	BRION (1980)

Tableau 6 : Réactivités relatives de différents sulfures (tiré de VILLENEUVE, 2004, adapté deJAMBOR, 1994).

1.4.3. La Neutralisation du DMA :

En plus des minéraux pouvant générer de l'acide (Acidogènes), les ressources minérales peuvent contenir aussi des minéraux possédant la capacité de neutraliser l'acide (Minéraux Acidivores). Le tableau 7 présente les principaux minéraux neutralisant pouvant être retrouvés dans les rejets miniers.

Les minéraux neutralisant les plus efficaces sont les carbonates et plus particulièrement la Calcite (CaCO₃), la Dolomite (CaMg(CO₃)). La réactivité relative des carbonates est très différente. En effet, la Calcite (CaCO₃) est plus réactive que la Dolomite qui elle-même l'est plus que l'Ankérite.

Chapitre 1 :

Les mécanismes de neutralisation de l'acide sulfurique (issu du DMA) par la Calcite et la Dolomite sont illustrés dans les équations suivantes (AUBERTIN et al., 2002) :

Calcite : $2CaCO_3 + H_2SO_4 \rightarrow 2Ca^{2+} + 2HCO^{3-} + SO_4^{-2}$ **Dolomite :** $CaMg(CO_3)_2 + H_2SO_4 \rightarrow Ca^{2+} + Mg^{2+} + 2HCO^{3-} + SO_4^{-2}$

D'autres carbonates (voir tableau 7) en plus de ceux déjà mentionnées peuvent neutraliser l'acide généré pas l'oxydation des minéraux sulfureux. De plus certaine minéraux de la classe des Hydroxydes et des Silicates peuvent aussi neutraliser les DMA, (Olivine, Biotite, Orthose).

Les différents minéraux neutralisants possèdent des potentiels de neutralisation et des cinétiques de réaction différents. Aussi ces minéraux ont des capacités différentes pour tamponner les eaux interstitielles a des pH différents.

Famille De Minéraux	Minéral	Formule Chimique
	Calcite	CaCO ₃
	Aragonite	CaCO₃
	Dolomite	CaMg(CO ₃) ₂
	Magnésite	MgCO₃
Carbonates	Ankérite	Ca(Fe, Mg)(CO ₃) ₂
	Kutnohorite	CaMn(CO ₃) ₂
	Sidérite	FeCO ₃
	Smithsonite	ZnCO₃
	Cérusite	PbCO₃
Hydroxydes	Gibbsite	Al(OH)₃
	Manganite	MnOOH
	Goethite	FeOOH
	Brucite	Mg(OH) ₂
	Chlorite	(Mg, Fe) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂
	Orthose	KAlSi₃O ₈
Silicates	Albite	NaAlSi ₃ O ₈
	Anorthite	CaNaAl ₂ Si ₂ O ₈
	Muscovite	KAl2(Si3Al)O10(OH)2
	Biotite	K(Fe, Mg) ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₂

Tableau 7 : Principaux minéraux neutralisants susceptibles d'être retrouvés dans les rejetsminiers (tiré d'AUBERTIN et al., 2002a).

22

Tout comme pour l'oxydation des minéraux sulfureux, un des aspects clés de la neutralisation est la vitesse avec laquelle la réaction peut se produire. Il est cependant difficile de classifier cette réactivité pour l'ensemble des conditions pouvant être retrouvées dans une aire d'entreposage de rejets (pH, température, conditions géochimiques, cristallographie, etc.).

Il est toutefois reconnu que les minéraux carbonatés sont nettement plus réactifs que les silicates ; parmi ces familles de minéraux, on retrouve différents niveaux de réactivité. La hiérarchie suivante de la réactivité relative des carbonates a été proposée par BLOWES et PTACEK (1994) : Calcite ≥ Dolomite > Ankérite Magnésienne > Ankérite > Sidérite.

STRÖMBERG (1997) a également tiré de la littérature des taux de dissolution pour différents minéraux.

Les résultats, pour un pH de 7 et une température de 25 °C, montrent que le taux de dissolution de la Calcite serait 10⁶ fois plus grand que ceux de la Biotite, de l'Anorthite et de l'Albite et 10⁷ fois plus grand que celui des Feldspath-K (STRÖMBERG, 1997).

En comparant les résultats présentés par LAWRENCE et SCHESKE (1997) (à pH 5) à ceux de STRÖMBERG (à pH 7), on observe que le pH a une influence majeure sur l'écart des taux de dissolution entre les Carbonates et les Silicates. Pour un pH neutre, la différence, en termes de taux de dissolution, est de l'ordre de 10⁶, alors qu'il est à peine de 2,5 à pH 5. L'impact des Silicates sur la qualité de l'eau est donc pratiquement négligeable à pH près de la neutralité mais devient significatif lorsque le pH devient faible (MONCUR et al., 2005).

En terminant cette brève description des phénomènes menant à la formation de DMA, il est important de mentionner que d'autres réactions chimiques (autres que l'oxydation et la neutralisation) sont susceptibles de se produire dans les rejets miniers et que ces dernières vont modifier le comportement géochimique du système. Par exemple, l'oxydation des minéraux sulfureux génère des ions sulfates, alors que la neutralisation par les Carbonates, tels que la Calcite et la Dolomite, génère des ions Calcium. Si les concentrations de ces deux éléments sont suffisamment élevées, il est possible qu'il y ait précipitation de minéraux secondaires dans les rejets (tel le Gypse). Ces précipitations vont affecter la qualité de l'eau (en réduisant les concentrations de ces deux éléments et en produisant certains autres éléments) et peuvent également affecter les propriétés des rejets (baisse de la porosité, par exemple). L'accumulation des minéraux secondaires peut conduire à la formation d'un horizon induré (hard pan), qui forme localement une interface moins perméable entre la zone de résidus oxydés et les résidus frais, ce qui peut contribuer à limiter la diffusion de l'oxygène en profondeur (BLOWES et al., 1991 ; AUBERTIN et al., 2002a).

La compréhension des processus géochimiques, prenant place dans la formation des minéraux secondaires, est primordiale si on veut pouvoir prédire l'évolution du DMA dans le contexte d'un site minier.

Chapitre 2

Géologie du Secteur d'Etude

2.1. Aperçu géologique :

2.1.1. Géologie d'AÏN-KACHERA :

Le Nord de l'Algérie est constitué de deux chaines orogéniques, la chaine Tellienne et la chaine atlasique ainsi que les Hauts Plateaux. Le tell fait partie de l'orogène Alpin périméditerranéen. Il montre une structure en nappes, engendrée par des phases tectoniques tangentielles à vergence Sud dominante. La chaine Tellienne du Nord Algérien fait partie des maghrébides, elle est issue de trois domaines paléogéographiques ; Domaine interne, domaine des flyschs et le domaine externe (WILDI, 1983).



Figure 5 : Schéma structural de la chaîne Alpine (LAMOTTE et al., 2000).

La district d'AÏN-KACHERA appartient au domaine interne (Petite Kabylie, Kabylie de Collo), les terraines de cette région sont constitués par des roches métamorphiques de nature variée d'âge Protérozoïque et Paléozoïque. Ils comparant des gneiss granulitiques, des gneiss oeillés à biotite et des micaschistes, sur lesquels se dépose des formations sédimentaires d'âge Mésozoïque et tertiaire qui sont constituées par des calcaires, des grés et des argiles, l'ensemble est largement intrus par des granites, des microgranites, des pegmatites et des Monzonites.



Figure 6 : Situation du massif de la Petite Kabylie et de district d'AÏN-KACHERA dans le domaine interne Maghrébin, (MAHDJOUB et MERLE, 1990).



ROCHES ERUPTIVES	Complexe du Miocène	Dacites et porphyres grano-dioritiques (y ^{6x}) Microdiorites (§)	Province decides et brèches éruptives	Intrusions de porphyres granodioritiques	Intrusions de l'Oligocène tardif	$\left(\frac{\chi_{3}^{2}\chi_{3}^{2}}{\chi_{3}^{2}\chi_{3}^{2}}\right)$ Granites et granodiorites	Intrusions du Paléozoique précoce	B Diabases et porphyrites diabasiques	Complexe du Précambrien	χ^2 Granites à muscovite	χ^1 Granitas, pegmatites	Coméennes de contact	Skarnes de contact	acts anormaux	arriage: a- visible, b- caché collements ou disharmonies importants	loles, c-cacnes illes : a- visibles , b- cachées à pendage non déterminé intacts des diapirs triasiques
NAPPE EPI TELIENNE	Campanien-Maestrichtien: argiities, calcaires, marnes, calcaires,		Aptien-Albien (série de flysch): argilites, grès calcaires bruns, marnes, parfois phtanites	Néocomien-Barrémien: marnes gréseuses, calcaires		Multipas (Hettangien-Domérien): calcaires à	Modules de silex, marnes, dolomies Keuper: formations diapiriques	ion sugarices	nes conventionnels	Cataclase et mytonitisation	M ² Niveaux : 1- calcaires, 2- marbres	Gneiss œillés	Pendages	Normaux Renversés Contraction Y Y Faibles Contraction Y Y Forts Contraction	Gisement de macrofossils Creament de microfossils Creament de microfossils Creament de microfossile	 destinant de plantes fossilisées 4- C
NAPPE NUMIDIENNE	Assise supérieure : grès numidiens	Assise inférieure : argiles numidiennes	MASSIF DE PETITE KABYLIE	Cretace superieur-Oligicene (nappe de flysch): argilites, calcaires, grès, microbrèches, phanites, parfois micaceés	Oligocène: conglomérats et grès micacés	Carbonitère: graviers cimentés, grès et argitites micacées	oique inférieur: Complexe de schistes épi métamorphiques	Assise supérieure: schistes argilo-siliceux et carbonato-siliceux, grès	Sig	Assise moyenne: calcarie, schistes argileux et carbonato-siliceux, grès	Assise inférieure: schistes argilo-siliceux bariolés	abrien: Complexe de roches métamorphiques	Assise supérieure: schistes sericito-quartzeux et chorito-sericieux. Conglomérats métamorphisés, més et colorises	gres et carcaltes Assise moyeme: schistes quartzeux à muscovite et schistes à deux micas, micas, calcaires métamorphisés	Assise inférieure: gneiss, marbres, quartzites et amplhibolites	
Rharbien: blocs, cailloutis, sables, argiles	Soltanien: caliloutis, sables	Fensifitien: calloutis, sables, limons, argiles	Amirian callarite cablee	Annuen: canouus, saoles Aluvions: cailoutis	sables, argiles Quatemaire Eboulis: blocs, galets angulaires, limons	Burdigalien-Helvétien: conglomérats grés micacés, argilites et marnes	NAPPE DU FLYSCH DE PENTHIEVRE Paléozo	Oligocène inférieur et moyen: argiites, marnes et grês micacés	Eocène supérieur (Priabonien): argilites, mícrcbrèches et grès bruns	Crétacé supérieur-Eocène moyen: calcaires, microbrèches, conglomérats et argliltes	NAPPE DU FLYSCH DE GUERROUCHE	Barrémien-Albien: grès verts	Trithonique-Hautérivien: arglittes, calcaires radiolaires et grés verts $$\chi^3$$	NaPPE DU FLYSCH MASSYLIEN Cénomanien-Sénonien: phtanites, argiites calcaires, microbrèches et micro-conglomértas	Aptien moyen-Albien: argilites, grès quartzitiques verts et grès carbonatés	Barrémien-Aptien inférieur: grès quartzeux
d ⁶	d _S	٩ ⁴	63	5	0 0 0	m ⁽²		g ¹⁻²	ep b	c.e ¹		n9-7	- ng	c ^{1.6}	n ^{6b-7}	n ^{4-5a}

2.1.2. Aperçu Lithostratigraphique :

L'ensemble des recherches géologiques affectuer par SONAREM démontre que le district de AÏN-KECHERA est composé de différentes formations géologique superposées sous forme de grosses écailles tectoniques. Dans cet édifice structural, la position la plus basse est occupée par l'unité tellienne para-autochtone. Plus haut, viennent les formations allochtones représentant des nappes tectoniques indépendant, ce sont de bas en haut : La nappe épi-tellienne, La nappe du flysch de guerrouch, La nappe du flysch de penthiévre. Ces unités sont surmontées par un complexe de roches métamorphiques (Gneiss) et sédimentaires qui se sont déplacées de la Kabyle.

La position la plus élevée dans la structure de chevauchement appartient à la série sédimentaire composée d'argiles et des grés quartzeux et qui est largement connue sous le nom de Numidien (nappe du Numidien).

Les formations post nappes sont représentées par le Burdigalien et le Quaternaire, ils sont très réduits dans la région et sont discordants sur toutes les unités susmentionnées. Dans l'édifice structural de la région, ces formations sont autochtones (Notice de AÏN-KECHERA (SONAREM, 1970)).

Système	Sous système	Etage	Index	Epaisseur m	LITHOLOGIE		
NEOGENE	MOCENE	BURDI- GALIEN	m ¹⁻²	100- 150	Interstratifications de grès micacés, argiles, marnes et argilites A la base,conglomérats micacés		
EUR		APTIEN ALBIEN	nf ⁵⁻⁷	400	Alternance fréquente de grès, argilites, calcaires, marnes et graviers cimentés (flyschs). Belémnites		
CRETAC	- INFERI	NEOCOMIEN	n ¹⁻⁴	500	Marnes gréseuses massives et calcaires noirs. Ammonites pyritisées abondantes.		
IQUE	DOGGER INF		⁷ . ۲	300- 400	Interstratifications de calcaires variés et de dolomies : dans la partie moyenne, marnes, argilites, calcaires		
JURASS	LIAS	ξ L ²		550- 600	Interstratifications de calcaires variés et de marnes. Calcaires à nodules de silex. A la base, dolomies et calcaires dolomitiques. Ammonites.		
TRIAS	SUPE. RIEUR	KUPER	t ³		Argiles, dolomies bréchiques, marnes, grès bariolés, argilites, blocs de roches hétérogènes		

UNITE TELIENNE

UNITE KABYLE

NEOGENE	MIOCENE	BURDI- GALIEN	m ¹⁻²		100- 150	Argilites, dolomies de grès micacés, argiles, marnes, argilites A la base, conglomérats micacés			
PALEOGENE	LIGOCENE MOYEN		g		400	Conglomérats alternant avec les grès micacés grossiers. Lépidociclines			
CARBO	0		h		50- 100	Schistes argileux interstratifiés de grès faiblement micacés et graviers cimentés			
			Ę ³		200- 250	Assise supérieure : schistes silico-argileux et silico-carbonatés vers le sommet bariolés. A la base de l'assise nombreuses intercalations de grès compacts			
PALEOZOIQUE INFERIEUR		٤²		700	Assise moyenne: calcaires interstratifiés de schistes argileux et silico-carbonatés.				
			٤¹	1		Assise inférieure: schistes silico-argileux monotones, bariolés. Interstratifications de grès compacts, aleurolites. Graptolites			
PRECAMBRIEN		PRECAMBRIEN x ³		×		Assise supérieure: schistes à chlorite-séricite et à quartz-séricite monotones à petites écailles. A la base, interstratifications d'un paquet de schistes sériciteux avec grès métamorphisés, calcaires et graviers cimentés.			
				2222222	300- 400	Assise moyenne: schistes à quartz-muscovite, monotones, à grandes écailles avec minces lentilles de calcaires marmorisés et de quartzites			
			x ¹		-500	Assise inférieure: interstratifications de gneiss à biotite fins et grossiers, de quartzites et de marbres, rarement d'amphibolite Gites stratiformes de gneiss oeillés			



2.1.3. Cadre structurale :

Les traits les plus particuliers, de la structure géologique du district de AÏN-KECHERA sont déterminés par l'existence de tout un groupe de nappes tectoniques qui subirent des déplacements horizontaux importantes à l'oligocène tardifs miocène précoce.

Le substratum de ce complexe allochtone est vraisemblablement, la série tellienne qui similaire à celle qui a été constatée, dans le massif de Moul-Ed-Demamène. Les formations sédimentaires plus récentes sont transgressives sur l'allochtone ainsi par rapport à la phase majeure du plissement, on distingue très nettement les trois étages structuraux suivants dans la région : Etage inférieur où autochtone, partiellement para autochtone ; L'étage moyen ou allochtone ; L'étage supérieur ou autochtone post nappe (Notice de AÏN-KECHERA (SONAREM, 1970)).

2.1.4. Minéralisation de district de AÏN-KECHERA :

2.1.4.1. Morphogénétiques des gisements polymétaux :

Les gisements polymétaux du district minier de AÏN-KECHERA sont généralement représenté par deux types morphogénétiques : les filons de Baryte et de Quartz à Barytine, et les zones de broyages à minéralisation d'imprégnation veinule (moins souvent continue).

Les gîtes filoniens sont situés dans la partie Sud-Est du district (SIDI-KAMBER, DAR-DEBBAR, BENI-RASDOUN, OUED OUDINA et BOUDOUKHA), surtout dans l'assise des gneiss (SIDI-KAMBER). Ce sont des gisements petits ou moyen.

Les réserves les plus connues d'entre eux sont actuellement épuisé en partie ou entièrement et ne présentent aucune valeur pratique (Abandonnée).

Les gisements de BOUDOUKHA sont contrôlés par de grandes fractures nettement marquées, facilitant la circulation des solution minéralisées et le dépôt des minerais. Les corps de minerais de ces gisements ont une forme de lentilles et de nids, et ils se distinguent par des paramètres plus considérables. On peut parfois les suivie à la surface, mais, le plus souvent ils se trouvent en profondeur (Notice de AÏN-KECHERA (SONAREM, 1970)).

2.1.4.2. Les gites minéraux :

Le district minier de AÏN-KECHERA se rapporte aux vieilles régions minières. On y trouve de nombreux gisements polymétalliques, pour la plupart peu importants, qui furent intensivement exploités dans la période allant de la fin du siècle dernier aux années 50. La région comporte aussi des gisements et indices de cuivre, fer, mercure et tungstène. Les substances utiles non métalliques les plus répandues sont les matériaux de constructions.

A. Les métaux :

Fer : Deux gisements de fer sont connus dans la région : le petit gisement de TISSEMIRAN et l'indice de RACHELIA.

Le gisement de TESSEMIRAN est situé sur la bordure Sud-Ouest du massif de Moul-Ed-Demamène. Le gisement a été exploré en 1919 à 1932. C'est un gisement d'Oligistes qui se sont substituées aux calcaires dans le panneau du toit du chevauchement, départageant les dépôts du Crétacé de ceux du Jurassique. Le corps métallifère est reconnu sur plus de 130 m en direction et

Chapitre 2 :

150 m en aval-pendage. Son épaisseur est de 16 m. Les réserves du gisement sont évaluées de 270 à 300 mille tonnes de minerai, avec 50 à 55 % de Fer.

L'indice de RACHELIA est situé dans la partie Sud-Est de la région. Trois affleurements de minerai de fer de type Oligiste y sont constatés. Ces minerais se trouvent au contact avec des intrusions de granités. L'analyse spectral indique une teneur élevée en (tungstène jusqu'à 0,03 %, étain jusqu'à 0,02 %, Zinc jusqu'à 0,1 %).

Plomb-Zinc : les indices de Pb-Zn sont les plus répandus dans la région dans la plupart des cas se sont des petits gîtes qui ont fait dans l'objet d'une exploitation artisanale dans le passé (SIDI-KAMBER, DAR-DEBBAR, BENI-RASDOUN, OUED OUDINA et BOUDOUKHA).

Cuivre : On compte dans la région deux gisements de cuivre celui d'ACHAÏCHE et celui de BOUDJOUDOUM, tous deux situés dans la structure de Moul-Ed-Demamène.

Les gisements de cuivre de la région représentent les trois types suivants : Les zones de broyage (ACHAICHE), les gisements stratiformes (BOU-DJOUDOUM) et les filons quartzeux à chalcopyrite.

Mercure : Dans la région on ne connaît qu'un seul indice de mercure, l'indice de BOU-SIABA qui est situé à 2,5 Km au Nord d'El Milia. La minéralisation métallifère est représentée par des filonnes, des nids et une fine dissémination de cinabre. La longueur totale des terrains altérés est de 500 m. celle des terrains minéralisés est de 15 m. pour une puissance de 0,3 m. Dans ces gisements, la teneur en mercure varie de 0,02 à 7,19 %.

Tungstène : MARIKHINE, V., 1966, a découvert de la Scheelite dans les calcaires carnifiés sur le versant occidental du massif de BENI TOUFOUT. La tenneur en Tungstène dans les formations Calcaires est très basse, une petite auréole de Wolfram a été localisée dans la partie Sud-Est de la région. Des grains d'Or sporadiques ont été découvertes dans les fonds de la batée.

(Notice de AÏN-KECHERA (SONAREM, 1970)).

B. Non métaux :

Le district de AÏN-KECHERA renferme de nombreux gîtes de matériaux de construction, Sables Quartzeux, Baryte, Gypse, Calcite.

La barytine est très répandue. Elle constitue la caisse des filons minéralisés des gisements polymétalliques. Dans la région du nœud métallifère de SIDI-KAMBER, on rencontre plusieurs filons de Barytine pure, dont le plus grand est suivi de manière discontinue, sur une longueur de 3 Km. La puissance de ce filon varie de 0,5 à 1,5 m. Les autres filons de Barytine n'ont aucune valeur pratique, vu leurs petites dimensions.

On trouve un indice de Gypse sur les versants occidentaux du massif de Moul-Ed-Demamène. Il est représenté par de petits nids de Gypse relativement pur, encaissés dans les terrains gypsifères du Trias. Les perspectives de cet indice à la surface sembleraient limitées. Au Sud, on rencontre des gisements de Gypse beaucoup plus grands dans une position structurale analogue.

Les Calcaires liasiques du massif de Moul-Ed-Demamène comportent un indice de Calcite. Il est formé de deux filons (d'une longueur allant jusqu'à 700 m et d'une puissance de 0,2 à 0,5 m.) de Calcite translucide, à grands éléments, présentant une biréfringence bien accusée. Ce qui peut

signifier que l'on peut s'attendre à y rencontrer éventuellement des variétés pures (Spath d'Islande) (Notice de AÏN-KECHERA (SONAREM, 1970)).

2.1.5. Hydrographie et hydrogéologie :

Les grandes nappes d'eaux souterraines font défaut dans la région AÏN-KECHERA. Le relief fortement raviné, le réseau hydrographique bien développé les précipitations atmosphériques tombant sous forme d'averses (Jusqu'à 1100 mm par annnée) et la présence fréquente dans la coupe de dépôts argileux peu perméables sont entant de conditionnant la prépondérance du ruissellement superficiel sur l'infiltration de la plupart des terrains.

Les sources les plus grandes sont associées aux zones faillées qui, grâce à leur grande étendue et leur profondeur considérable offrent des conditions favorables pour l'alimentation de celles-ci.

Les observations hydrogéologiques et les essais de nappe, effectué sur 55 sources, en permets de distinguer, dans la région, les complexes aquifères suivants :

	Caractéristiques des eaux							
Complexe aquifère	Débit des sources (I/s)	Minéralisation (g/l)	Composition des eaux					
Complexe aquifère des alluvions fluviatiles et torrentielles	0,01 à 0,1	1 maxi	Chlorurée, hydrocarbonate, plus rarement sulfato-sodique et calcique.					
Complexe aquifère des dépôts sédimentaires, calcaires jurassiques excepté	0,01 à 0,2	0,2 à 0,7	Hydrocarbonato-chlorurées hydrocarbonato-sulfatée, plus rarement sodique et magnésienne.					
Complexe aquifère des dépôts jurassiques carbonatés (calcaire dolomies)	0,01 à 0,2	0,4 à 2,7	Hydrocarbonato-sulfato-calcique					
Nappes aquifères des terrains d'altération métamorphiques	0,01 à 1	0,1 à 4	Hydrocarbonato-chlorurée, calco- sodique.					
Nappes aquifères des terrains d'altération des granites tertiaires.	0,3 à 1	0,1 à 0,5	Hydrocarbonatées, plus rarement sulfatée.					
Nappes en réseaux (ou eaux de fissures) dans les zones de fracture.	0,2 à 2	0,3 à 0,6	Hydrocarbonato-chloruro-sodique et calcique, rarement sulfatée.					

 Tableau 8 : Les complexes aquifères dans la région AÏN-KECHERA (Notice de AÏN-KECHERA)

 (SONAREM)).

2.2. Problématique :

Le drainage minier acide est considéré comme l'un des problèmes environnementaux les plus importants auxquels l'industrie extractive doit faire face pour préserver la qualité des sols et les ressources en eaux dans les sites miniers.

Dans le cas de la région d'AÏN-KACHERA qui a une longue histoire minière depuis l'époque romaine a connu une activité minière intense depuis plusieurs siècles. Cette activité s'explique par la richesse et la diversité de ses ressources minérales.

AÏN-KACHERA comporte plusieurs sites miniers qui ont été explorés ou/et exploités qui sont actuellement abandonnés (SIDI-KAMBER, DAR DEBBAR, BENI RASDOUN, OUED OUDINE, BOUDOUKHA, AÏN-KACHERA, BIR BENI SALAH, KOUDIAT TAGMA, DJEBEL DAR-DEBBAR). Plusieurs millions de tonnes de roches stériles et de résidus de concentrateurs ont été générés, et qui contaminer de grandes surfaces de terrains par les métaux lourds. Cette pollution métallique est généralement le résultat des activités minières anciennes qui remonte aux siècles précédents.

Aujourd'hui, environ un demi-siècle après la cessation de toute activité minière, les mines de AÏN-KECHERA constituent toujours un potentiel polluant direct pour l'environnement et pour la santé des populations limitrophes. En effet, au cours de leurs activités, ils ont généré plusieurs millions de tonnes de rejets qui ont été abandonnés sans aucune mesure de préservation. Le lessivage de ces rejets miniers par les eaux de pluie et l'envol des particules constituent une source sérieuse de contamination pour les cours d'eau, les terres à vocation agricole et les eaux souterraines utilisées pour l'approvisionnement en eau potable et pour l'irrigation.

L'un des facteurs les plus déterminants dans l'impact d'une mine abandonnées est le pouvoir générateur d'acidités des rejets entreposés.

Ainsi, la prédiction du pouvoir polluants des rejets miniers doit être faites en priorité avant toute étude d'impact sur l'environnement.

Afin d'étudier les pouvoirs générateurs d'acides de ces rejets, nous avons choisi comme cas typique les rejets miniers de la mine abandonnée de SIDI-KAMBER. Et pour cela un certain nombre de paramètres furent analyser à savoir : la granulométrie, les paramètres physico-chimiques (pH, Potentiel d'oxydo-réduction, conductivité électrique), DRX, XRF, analyse spectrométrique (ETM), la minéralogie et le chimisme de rejet minière.

2.3. Contexte local de secteur d'étude :

2.3.1. Cadre physico-géographique de SIDI-KAMBER :

Le champ minier de SIDI-KAMBER se situe dans la partie occidentale de la Kabylie de Collo, sur le territoire de la Daïra de Collo essentiellement et partiellement à store de la Willaya de SKIKDA.

La Kabylie de Collo représente un massif minier très important situé à 400-450 Km à l'Est d'Alger et environ 30 à 75 Km au Nord de Constantine.

2.3.1.1. Situation géographique :

La région de SIDI-KAMBER est située dans le Nord-Est de l'Algérie, Elle occupe une superficie d'environ 75 Km². Elle est située à 34 Km à vol d'oiseau au Sud-Ouest de la ville de SKIKDA, et à 28 Km à l'Est d'El Milia et à 40 km au Nord de Constantine avec lesquels elle est liée par des routes de 60 â 75 Km de longueur (Figure 10). Elle est située aux coordonnées géographiques suivantes :

- Latitude 36°43'7.51" N,
- Longitude 6°35'20.01" E,
- Et d'une altitude moyenne de 255 m.

La mine abandonnée de SIDI-KAMBER est située dans la partie Sud-Ouest du champ minier et reliée par l'autoroute avec les villes de CONSTANTINE (60 Km), de SKIKDA (47 Km) et COLLO (52 Km).

Les terrains barytifères se trouvent de 3 à 6 Km de la mine avec laquelle ils sont reliés par piste.

2.3.1.2. Le relief :

Le relief de la région est moyennement élevé, farouchement discontinu, le dénivelé des montagnes varie entre 100 et 500 m au-dessus de niveau de la mer avec une élévation relative entre 150 à 350 m.

Une grande partie du territoire est entièrement recouverte de bois et de broussailles ce qui rend les travaux géologiques difficiles à réaliser.

2.3.1.3. L'affleurement de roche :

Il y a peu d'affleurements en surface et les filons ne sont pas tous visibles, surtout à cause des forêts et des broussailles très denses. L'affleurement de roche en place de région est assez réduit. On rencontre essentiellement des affleurements des roches basiques le long des lits des rivières et de leurs affluents ainsi que dans les parties dorsales des petits interfluves.

Géologie Du Secteur d'Etude

Chapitre 2 :



Figure 10 : Localisation géographique de la région de SIDI-KAMBER (Google Earth, 2016).
2.3.1.4. Climat et végétation :

A. Climat :

La région SIDI-KAMBER possède un climat méditerranéen subtropical, étés chauds et secs et à l'hivers humides et froids.

A.1. Les températures :

La température moyenne à SIDI-KAMBER est de 18.5 °C. Au mois d'Août, la température moyenne est de 26,5 °C. Août est de ce fait le mois le plus chaud de l'année. Janvier est le mois le plus froid de l'année, la température moyenne est de 13 °C à cette période.

Le record de chaleur est de 46 °C enregistré le lundi 5 juillet 1993 et le record de froid de moins de 2 °C enregistré le samedi 26 décembre 1998.

T.M.	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Min. (°C)	9	9	11	13	16	20	22	23	21	18	13	10
Max. (°C)	17	17	20	21	23	27	29	30	28	26	20	18
Eau (°C)	16	16	16	16	18	21	23	26	25	24	21	17

L'amplitude des températures tout au long de l'année est de 13.6 °C.

Tableau 9 : Température moyenne maximale et minimale (°C), et Température moyenne del'eau (°C) pour la région de SIDI-KAMBER (meteovista, 2017).





A.2. Les précipitations :

Les précipitations dans la région de SIDI-KAMBER sont extrêmement irrégulières, elles sont en moyenne de 728,6 mm par année.

Des précipitations moyennes de 2,9 mm font du mois de juillet le mois le plus sec. En décembre, les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 123 mm.

Les précipitations varient de 120,1 mm entre le mois le plus sec et le mois le plus humide.

	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Préc. (mm)	115,3	94	75,6	60,8	29,9	13,1	2,9	9,7	30,1	75	99,2	123
Jour	15	11	9	9	10	5	0	5	10	9	16	18

Tableau 10 : Moyenne mensuelle des précipitations (mm) et des jours de précipitation pour larégion de SIDI-KAMBER (meteovista, 2017).



Figure 12 : Histogramme de moyenne mensuelle des précipitations et des jours de précipitation pour la région de SIDI-KAMBER (meteovista, 2017).

A.3. L'humidité :

L'humidité de l'air est très élevée dans la région de SIDI-KABMER, se valeur mensuelle moyenne baisse très rarement au-dessous de 68%.

	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Hum. (%)	74	74	70	69	78	73	70	73	74	71	74	75

Tableau 10 : Humidité moyenne (%) par jour pour la région de SIDI-KAMBER (meteovista, 2017).



Figure 13 : Graphe d'humidité moyenne par jour pour la région de SIDI-KAMBER (meteovista, 2017).

B. Végétation :

La couverture végétale à une grande importance dans la protection des sols spécialement quand elle est équilibrée biologiquement, donc elle présente le moyen efficace contre les différents

processus d'érosion principalement dans les zones à pente très forte. Dans la région d'étude la couverture végétale est représenté par deux formations végétales, notamment les forêts et les maquis qui occupent la quasi-totalité de la région.

2.3.1.5. Réseau hydrographique :

La région est caractérisée par le bassin versant d'Oued Fessa (GUENITRA) qui reçoit une lame d'eau de l'ordre de 840 mm³ par année. Il existe de nombreux affluents semi permanents et temporaires telle que : Oued ESSOUK, Oued GUEBLI, Oued BOUCHOUK, Oued MALOUH ... etc., qui apportent des débits importants pendant les périodes pluvieuses (Hiver) (Figure 14).

Les cours d'eau essentiels de la région sont les Oueds de SEDJEL, GUEBLI, FESSE. Ils se caractérisent par un débit instable ; les oueds se dessèchent en été et leurs affluents ne se remplissent d'eau que pendant la période pluvieuse (Novembre - Mars).



Figure 14 : Carte montre le réseau hydrographique de SIDI-KAMBER.

2.3.2. Contexte géologique locale :

2.3.2.1. Aperçu géologique :

Le champ minier et le gisement de SIDI-KAMBER ont fait l'objet de travaux géologiques qui ont commencés en Janvier 1968 avec la participation des spécialistes Soviétiques. Ces travaux furent menés sans interruption jusqu'à leur accomplissement dans la première moitié de l'année 1971. De 1968 à 1970, les travaux furent menés dans le cadre du contrat 1675 ; en 1971 ces travaux furent menés sur la base du contrat 73 019.

Le gisement de SIDI-KAMBER se trouve dans la partie Est de la Kabylie de Collo, (partie Sud-Est de la carte géologique au 1 : 50 000 de AÏN-KECHERA, (ANGCM, 1970)) (Figure 7).

Le gisement de SIDI-KAMBER se trouve dans le champ minier du même nom, occupant une superficie d'environ 75 Km². Ce dernier renferme tout une série d'indices et de gisements filoniens hydrothermaux de Plomb-Zinc, vraisemblablement du même âge et présentant des particularités minéralo-géochimiques et géo-structurales nettement semblables (Figure 15) (Rapport SONAREM, 1971).



Figure 15 : Carte d'observation du champ métallifère de SIDI-KAMBER (SONREM) (Modifiée).

Le champ miner de SIDI-KAMBER est composé de roches cristallines des complexes éruptifs et métamorphiques du Protérozoïque et du Paléozoïque inférieur, recouvertes des roches sédimentaires du Mésozoïque et du Cénozoïque.

Trois étages structuraux caractérisant nettement leur rapport d'âge et le caractère de plissement manifesté.

L'étage structural inférieur est formé de Schistes micacés,

L'étage structural qui se trouve au milieu est composé des faciès Argile carbonatées du Crétacé et du Cénozoïque,

L'étage structurel supérieur sont composées de corps intrusif du rang Granitoïde (Rapport SONAREM, 1968-1970a).

Les roches les plus anciennes sont granito-gneiss et les micaschistes à Quartz-Séricite-Muscovite, ainsi qu'à Quartz-Biotite. Ces roches sont couvertes trangressivement par des Chlorito-Schistes Quartzeux.

Les roches de la série granitoïde, qui sont la plupart du temps des granités sont situées sur les failles profondes et sont représentées par des intrusions. Les intrusions sont accompagnées de dykes de porphyres granitiques (Rapport SONAREM, 1971).

Le gisement de SIDI-KAMBER est présenté par une série de filons baryto-sulfurés qui ont la direction NE-SW. De l'Est à l'Ouest on connait les filons suivants : JEANNETTE, ALICE, BOU-IDOU, DAR HANOUT, SUZANNE, JULE-ROGER, RENEE. La distance entre ces filons est de 250 à 800 m. La distance entre les filons extrêmes est de 3,5 km. Les filons ont des ramifications multiples qui sont minéralisées et présentent-elles même un intérêt pratique. Le pendage des filons est raide, ils sont relativement longs de 300 à 2500 mètres, leur épaisseur varie de 0,1 à 2 mètres (Rapport SONAREM, 1966-1967).

Filons				Épaisseur du filon (m)			
Flions	Longueur (m)	Azimut de direction	Azimut, angle et pendage	De	À	Moyenne	
RENEE	1000	NE 10-20	NW 280-290 ; 55-85	0,10	0,30	0,30	
JULE	700	NE 5-15	NW 275-285 ; 60-90	1,10	0,60	0,23	
ROGET	450	NNE 0-20	WNW 270-290 ; 60-90	1,10	0,60	0,22	
SUZANNE	800	NE 35-40	SE 125-130 ; 60-90	1,10	0,60	0,20	
BOU-IDOU	2500	NE 20-30	-	-	-	-	
ALICE	300	NE 20	-	-	-	-	
JEANNETTE	750	NE 20	-	-	-	-	

Tableau 11 : Caractéristiques des filons du gisement de SIDI-KAMBER.(Rapport SONAREM, 1966-1967).

La métallogénie du champ métallifère de SIDI-KAMBER se caractérise par le développement des gisements seulement polymétalliques, par excellence de Plomb-Zinc (Rapport SONAREM, 1968-1970a).

2.3.2.2. Aperçu Lithostratigraphie :

Protérozoïque : Les roches métamorphiques, qui se rapportent au Protérozoïque, sont largement développées dans la partie Nord et Sud-Est de la région de SIDI-KAMBER. Elles sont présentées par les Schistes et les Gneiss cristallins, intensivement métamorphisés.

D'après leur composition, ces roches sont divisées conventionnellement en deux assises : schisteuse et gneissique.

L'assise Schisteuse : Est présentée par les Schistes, Quartz, avec des petits lits isolés de Moscovites, Granito-Gneiss, Quartzites et Amphibolites. La Puissance de l'assise est plus de 1000 m.

L'assise Gneissique : est composée de Gneiss à Muscovite, Gneiss oeillés avec de petits lits ou des paquets de Schistes cristallins. Le degré de leur métamorphisme est le même (le faciès amphibolite). La puissance de l'assise dépasse 1000 m.

Protérozoïque : Sur les roches du complexe inférieur (protérozoïque) cristallin se trouve un complexe supérieur métamorphique. Les roches du complexe supérieur sont développées dans les parties centrales, Sud-Ouest et Sud-Est de la région. Elles sont présentées par les Schistes, et les Schistes Marneux avec de petits lits isolés de grès Calcaires et Dolomies.

La particularité caractéristique de l'assise est la présence des filons, de petites lentilles et des concrétions noduleuses de Quartz.

Les roches du complexe supérieur sont métamorphisées plus faiblement que celles du complexe inférieur. Ces roches ne sont pas touchées par le mécanisme de granitisation. L'épaisseur de l'assise est 500 à 700 m.

Mésozoïque : Les roches terrigènes carbonatés du mésozoïque sont développées en principe au Sud de la région, vers le Sud d'une grande faille, qui est probablement la suite Ouest du charriage Nord-Numidique. Vers le Nord elles se distinguent seulement dans les grabens étroits de l'étendue Nord-Est et subméridienne et ne sont présentées que par le flysch crayeux.

Cénozoïque :

Les Dépôts Paléogènes : sont largement répandus dans la région. Ils recouvrent habituellement les roches cristallines. Ils sont présentés par l'oligocène inférieur et moyen, des schistes argileux numidiques (Oligocène inférieur), des grès et des conglomérats numidiques et des grès aquitaniens (Oligocène supérieur). La puissance des dépôts dépasse 500 m.

Les Dépôts Néogènes (Miocène) : ont été remarquée seulement dans la partie Est de la région, où ils se trouvent avec une brusque discordance angulaire sur les dépôts paléogènes et sur le flysch crétacé. Le Néogène est présenté par des conglomérats et des grès friables, peu cimentés. Leur puissance est de 30 â 50 m.

Quaternaires : Ils comblent des parties basses du relief ou couvrent les pentes et les parties du partage des eaux des montagnes d'une espèce de gaine peu puissants.

Parmi ces dépôts on distingue : le diluvium des pontes, les dépôts diluviens-proluviens des courants passagers ainsi que l'alluvion ancien et récent des vallées fluviales. Leur puissance ne dépasse pas habituellement 3 à 4 m, mais parfois elle atteint 30 m et plus (Rapport SONAREM, 1968-1970a).

2.3.2.3. Cadre structurale :

Le territoire de SIDI-KAMBER se caractérise par les structures tectoniques assez compliquée, conditionnée par de nombreuses manifestations de processus de tectogénèse aux protérozoïque, paléozoïque et mésozoïque.

Les roches du complexe métamorphique forme des plis linéaires de la direction Est-Nord-Est. Ces types de déformations se manifestent le plus nettement dans les schistes.

Les processus de la formation de plis étaient suivis d'accidents de rupture qui d'après l'échelle du développement et d'après leur rôle dans la création des éléments structurels, se subdivisent en trois groupes de failles :

Failles E-W,Failles N-E,Failles NE-SW.

Les dislocations tectoniques E-W se rapportent à de grand accident régional qui ont le plus souvent la direction sublatitudinale, elle se caractérisent évidemment par des failles de grandes profondeurs.

Les dislocations tectoniques N-E sont probablement liées au développement de dislocations tectoniques E-W ; ils ont des fissures étendues des directions subméridiennes et Nord-Est. Vers ces dernières se rapportent les gisements filoniens connus dans la région. Sur cette faille passe le contact du socle cristallin avec les formations mésozoïques.

Les dislocations tectoniques NE-SW comprennent des failles qui coupent les corps métallifères avec de petits décrochements. Elles ont les directions Nord-Ouest et Nord-Est (Rapport SONAREM, 1968-1970a).



Figure 16 : Carte géologique montre la tectonique de champ minier de SIDI-KAMBER (SONREM, 1970, Modifie).

42

2.3.2.4. Minéralisation :

Le gisement de Sidi-Kamber est représenté par une série filoniens hydrothermaux de barytesulfures rapprochés qui se situe dans un système de fractures subméridiennes (NNE). Huit filons sont connus de l'Ouest à l'Est : René, Julee, Roger, Suzanne, Dar-Hanout, Bouldou, Alice Et Janette.

Les puissances des filons minéralisés et les concentrations des minéraux métalliques sont très irrégulières. Les filons pratiquement les plus intéressants sont ceux qui recoupent les micaschistes. Ces derniers sont en général relativement continus en direction, ils se distinguent par les puissances maximums et sont les plus riches en sulfure de Plomb-Zinc (René, Jules, Dar Hanout).

Les filons associés aux granito-gneiss et aux granitoïdes cataclasés se caractérisent par des paramètres plus médiocres (Bou-Idou, Alice, Jannette) (Rapport SONAREM, 1971).

A. Structure et Texture :

Les filons sont typiques hydrothermaux, de moyennes profondeurs, avec les indices assez uniformes de texture et de structure et avec le nombre limité de minéraux métallifères.

Les structures de la minéralisation-filoniens à dissémination et brèches massifs reflètent le processus compliqué a plusieurs étapes de la formation hypogène de la minéralisation. Les textures en question de minerais, celles filoniennes disséminées, bréchiques, tachetées et massives, montrent le processus compliqué à plusieurs stades de la formation métallifère hypogène (Rapport SONAREM, 1968-1970a).

B. Encaissent :

Les roches du gisement sont formées essentiellement par des schistes du complexe métamorphique du Paléozoïque, Intensément et finement plissotées. Les corps métallifères sont des filons de baryte à minéralisation surimposée. Le minéral de gangue (encaissent) principale est la barytine parfois associée avec une petite quantité de quartz (Rapport SONAREM, 1971).

Les contacts des filons avec des roches encaissantes sont nets. Les changements près de minerai sont bien exprimés et présentés par la Séricitation, Quartzination, Chloritisation, Pyritisation et Carbonitisation. Dans les zones du changement des roches encaissantes a eu lieu l'apport de Silice, Barytine, Calcium et de Soufre, et quant au Fer, Magnésium, Potassium et Sodium, ils ont été emportés. Dans la zone d'hypergenèse, on trouve dans les minerais : Cérusite, Ocres du Plomb, Smithsonite, Anglésite, Bornite, Corvellite, Gypse et Hydroxydes de Fer (Rapport SONAREM, 1968-1970a).

C. Minéralogie :

La Minéralisation est constituée par de la Galène, de la Blende, de la Chalcopyrite et de la Pyrite en proportions différentes, souvent c'est la Galène qui prédomine. Les minéraux des gangues sont la Barytine et très rarement le Quartz et la Calcite. A l'époque de l'exploitation le minerai sulfuré extrait était très riche (70 à 80 % des sulfures) (Rapport SONAREM, 1966-1967).

D. Succession para-génétique et mise en place :

La succession de formation des minerais est la suivante : Barytine \rightarrow Galène avec Pyrite \rightarrow fausse Galène brune avec Chalcopyrite et Chalcosine \rightarrow Quartz \rightarrow Barytine \rightarrow fausse Galène noire (marmatite) (Rapport SONAREM, 1968-1970a).



Chapitre 3

Moyens et Méthodes

3.1. Etat de la mine abandonnée de SIDI-KAMBER :

La plupart des corps métallifères connus dans la région de SIDI-KAMBER sont exploité par les anciens travaux romains, qui ont été facilement repérés à la suite d'incendies des forêts qui ont ravagé les pentes dans la région, ce qui a permis de découvrir des gisements. En 1908 on a commencé les travaux aux filons du gisement de BENI-RASDOUN. A la base de ces gisements en 1922, ils ont fondé la Société des mines de SIDI-KAMBER qui a augmenté sa production vers l'année 1925 en organisant l'extraction du minerai aux chantiers de KOUDIAT-TAGMA et KOUDIET-TOUBA. Le commencement des travaux à la concession de SIDI-KAMBER se rapporte en 1889.



Figure 18 : Photo satellitaire de SIDI-KAMBER (Google Earth, 2017).

Le minerai extrait est une Blende compacte, d'une grande pureté, à facettes brillantes ayant une teneur moyenne de 50 à 60 % de Zinc et une Galène riche en Plomb, 80 à 83 %, moins riche en Argent, 40 à 50 grammes à la tonne. Les minerais extraits sont d'abord triés à la main, puis passés au crible et dirigés sur une laverie partie mécanique, partie à bras qui sépare très facilement la Galène des autres minerais.

En Juin 1966, la laverie de SIDI-KAMBER a été nationalisée. Elle se trouve sous la direction de la SONARAEM. Elle est équipée de deux lignes technologiques, gravitation et flottation sur lesquelles on fait le concentré de Plomb, et le concentré de Zinc avec la méthode de flottation. Le rondement de la section de flottation est de 36 000 tonnes de minerai par année. Auparavant on a donné près de 5 000 tonnes de concentré (Plomb et Zinc). Mais tenant compte de la diminution des teneurs de métal dans les blocs exploitables et l'augmentation du travail pour extraire les minerais dans les niveaux profonds, la mine a reçu le plan de 1970 pour la production des concentrés en 4 000 tonnes et l'extraction annuelle de minerai est 25 000 tonnes.

Les rejets de la laverie sont constitués de la Blende mélangée à la Pyrite, à la Baryte et aux Schistes est en proportion de 20 à 30 %. Ces rejets miner sont stockés en attendant l'installation d'appareils de séparation et de traitement que les difficultés nées de la guerre ont, jusqu'ici, retardé.

L'exploitation du gisement de Plomb-Zinc est arrêtée en 1979 ; depuis la Barytine est exploitée à ciel ouvert jusqu'à 1984, date de fermeture de la mine.



Figure 19 : Photo montre l'état de l'usine du traitement (La laverie) (2017).

Depuis la mise en arrêt des activités minières en 1984, le site minier de SIDI-KAMBER est resté à l'abondant sans aucune activité de réhabilitation. La plupart des galeries sont effondrées ou infranchissables à cause des eaux.

La mine a comporté des installations complètes : habitation pour tous les personnels, bureaux, laboratoires, laverie mécanique, forge et matériel important. La plupart ces constructions sont détruites, les habitations qui restent sont occupés par les habitants de village.



Figure 20 : Photo montre les constructions occupées par les habitants (2017).

Moyens Et Méthodes

Chapitre 3 :

L'extraction des minerais dans les mines de SIDI-KAMBER, et leur traitement a généré des quantités importantes de déchets et de haldes à stériles, ils se situent près de la laverie, ils sont en contact direct avec l'oued ESSOUK, qu'est l'un des oueds qui alimentent le barrage de GUENITRA.



Figure 21 : Photo satellitaire de site minier de SIDI-KAMBER (Google earth, 2017).

Ces rejets sont considérés comme une source de pollution des eaux à cause de leurs instabilités physico-chimique. Ils occupent une surface de 11 000 m² avec une épaisseur d'environ 15 à 20 m par endroits, cumulant un volume d'environs 180 000 m³.



Figure 22 : Photo satellitaire de déchet minier de SIDI-KAMBER (Google earth, 2017).

Moyens Et Méthodes



Figure 23 : Photos montrant l'état actuel des rejets miniers de la mine abandonnée (2017).



Figure 24: Photo montre la contamination des eaux d'oued ESSOUK, (CHAGUER Mounia, 2013).



Figure 25 : Photo montre la contamination des eaux d'oued ESSOUK, (ISSAAD, M., 2015).

3.2. Prélèvement et préparation des échantillons :

3.2.1. Prélèvement des échantillons :

Le choix de la méthode d'échantillonnage et des stations d'étude dans la région de SIDI-KAMBER fut réalisé lors d'une mission de terrain entreprise par Mr. ISSAAD pendant l'Automne 2015.

Les prélèvements de résidus miniers issus de l'ancienne mine abandonnée de SIDI-KAMBER a permis de prélever les échantillons référencés : DSK1, DSK2, DSK3 G, DSK3, DSK4, SK DIG2, SK E1, SK E2, SK E3, dans la partie Est de la mine abandonnée, alors que les échantillons référencés : SK1 F, SK1 J, SK1, SK11, SK3 R-G, SK4, SK7, SKJ, SKR, SK W1, SK W2, SK W3, ont été prélevés dans la partie Ouest de la mine abandonnée. Un autre prélèvement a été fait dans l'encaissant de la minéralisation nommé SK.

Les prélèvements des haldes à stériles issus de l'ancienne mine abandonnée de SIDI-KAMBER, référencés : SK 1, SK 2, SK 3, SK A, SK B, SK C, échantillonné sous forme des roches, ont été effectués, en Mai 2017.

Tous les échantillons prélevés sur le terrain sont sous forme solide, ils sont prélevés sur la surface à proximité de la mine abandonnée de SIDI-KAMBER.

3.2.2. Préparation des échantillons :

Les échantillons (haldes à stériles et résidus miniers) ont été collectés en quantité importante dans des sacs en plastiques doublés et fermés hermétiquement après évacuation de l'air, puis transportés avec précaution et stockés au laboratoire.

Les échantillons noms : SK DIG2, SK1 F, SK1 J, SK3 R-G, SK4, SKJ, SKR. Sont destiné à des essais physico-chimiques (Granulométrie, pH, Redox et Conductivité), aussi pour des études minéralogiques et pétrographiques.

Les prélèvements dans les haldes à stériles, référencés : SK1, SK2, SK3, SK A, SK B, SK C, sont destinés à la réalisation des sections polies pour les études microscopiques, minéralogiques et métallographiques.

L'échantillon qui a été prélève dans l'encaissant de la minéralisation nommé SK est destiné à réaliser une lame mince pour une étude minéralogique microscopique.

Les échantillons : DSK2, DSK4, SK1, SK7, SK11, ont été l'objet d'une analyse minéralogique par diffraction des rayons X (DRX) réalisé au Japon par Mr. ISSAAD (Décembre 2015). Et aussi les échantillons : SK E1, SK E2, SK E3, SK W1, SK W2, SK W3, qui ont été l'objet d'une analyse élémentaire par fluorescence X (SFX).

Pour l'analyse géochimique, les échantillons : DSK1, DSK2, DSK3 G, DSK3 ont été destiné à l'absorption atomique au laboratoire de l'ORGM a BOUMERDES.

Avant de procéder à l'échantillonnage, tout le matériel servant au prélèvement et à la préparation des échantillons est nettoyé de façon adéquate avant le prélèvement et la préparation de chaque échantillon. Ceci a pour effet de limiter les possibilités de contamination et obtenir un résultat fiable.

3.3. Moyen et méthode :

En Algérie, depuis une dizaine d'années, plusieurs mines abandonnées, ont fait l'objet d'étude, de caractérisation et de surveillance. Grâce aux travaux de recherche, les techniques de caractérisation et de suivi ont été considérablement améliorées. Il est à souligner que ces travaux de recherches ont mené à une meilleure prédiction du drainage minier, notamment par le biais d'essais statiques, d'essais cinétiques et des modèles physico-chimiques (FERGUSON et ERICKSON, 1988 ; PERKINS et al., 1995 ; VILLENEUVE, 2004).

3.3.1. Caractérisations physico-chimiques des rejets miniers :

Dans ce paragraphe, sont présentées sommairement les principales méthodes utilisées pour la caractérisation physique, chimique et minéralogique des échantillons de résidus miniers et de roches stériles. Ceux-ci incluent la distribution granulométrique, le pH, la conductivité électrique des matériaux et le potentiel d'oxydoréduction.

3.3.1.1. Distribution granulométrique :

L'analyse granulométrique des échantillons issus de la mine abandonnée de SIDI-KAMBER est déterminée à l'aide d'une tamiseuse vibrante de type Retsch AS 200 basic.

L'analyse granulométrique a été faite sur 200 grammes de sédiment de chaque échantillon (SK DIG2, SK1 F, SK1 J, SK3 R-G, SK4, SKJ, SKR) après avoir était séché dans un four de séchage de type MEMMERT à une température de 50 °C pendant 24 heures. Pour chaque échantillon nous avons utilisé une colonne de 8 tamis plus le fond, dont les mailles sont : 4 mm ; 2 mm ; 1 mm ; 0,5 mm ; 0,25 mm ; 0,125 mm ; 0,063 mm ; 0,045 mm et inférieur à 0,045 mm (Norme AFNOR, NF P94-056, 1996). Chaque échantillon fait l'objet de 20 minutes de vibration avec une vitesse de secousses (Amplitude) modérée de 50 secousses par seconde pour empêcher la cassure des grains de sédiment. Chaque refus de tamis est ensuite pesé respectivement, au dixième de gramme près avec une balance de précision (OHAUS Scout Pro).

L'analyse granulométrique de l'ensemble des échantillons a été réalisée au laboratoire de sédimentologie de département de Géologie, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Campus Tamda, (2017).



Figure 26 : Photos de l'ensembles de matérielles utilisé au laboratoire.1. Four de séchage, 2. Echantillons séchés, 3. balance de précision.



Figure 27 : Photo de tamiseuse vibrante type Retsch AS 200 Basic.

3.3.1.2. Analyses physico-chimiques :

Les paramètres mesurés sur les échantillons solides (SK DIG2, SK1 F, SK1 J, SK3 R-G, SK4, SKJ, SKR) sont le pH, la conductivité électrique (μ S/cm) et le potentiel d'oxydoréduction Eh (mV) selon la méthode de Sobek et al., (1978).

Le mode opératoire pour réaliser cette analyse stipule qu'après avoir fait l'analyse granulométrique de l'échantillon on sélectionne les fractions granulométriques inférieur à 0,125 mm et entre 0,125 et 0,250 mm. On mesure deux grammes de chaque échantillon pour chaque fraction granulométrique et on le met dans un gobelet en plastique par la suit-on ajouté de l'eau.

On a choisi de faire deux mesures de pH, la première est sans mélange la solution (Faible oxygénations), et pour la deuxième mesure on mélange bien la solution (Grande oxygénation).

Avant de procéder à chaque mesure, on a nettoyé l'électrode, la sonde de température et l'électrode de rédox de pH mètre et le conductimètre de façon adéquate. Ceci a pour effet de limiter les possibilités de contamination et obtenir un résultat fiable.



Figure 28 : Photo montre les solutions préparées pour les mesures.

A. pH :

Le pH est mesuré à l'aide d'un pH mètre portable de type HANNA HI 8424. Les solutions tampons utilisées pour étalonner le pH-mètre sont des solutions à pH = 4, pH = 7, et pH = 10.



Figure 29 : Photo de l'ensemble de pH mètre utilisé.

B. Potentiel d'oxydo-réduction :

Le potentiel d'oxydo-réduction est mesuré par rapport à l'électrode de rédox de référence HI 1332B. Reporté à des valeurs de Eh relatives à l'électrode standard d'hydrogène. Généralement, plus cette valeur est grande, plus le milieu étudié est oxydant et plus la valence des métaux est positivement grande.

La mesure du potentiel d'oxydoréduction des échantillons est réalisée à l'aide d'un pH mètre portable de type HANNA HI 8424 et une électrode de rédox HI 1332B.

C. Conductivité électrique :

La conductivité d'une solution dépend de la nature des ions présents et de leurs concentrations. Plus la concentration en ions dans la solution est importante, plus la conductivité est élevée. La conductivité électrique est déterminée à l'aide d'un conductimètre type HANNA HI 98311.



Figure 30 : Photo de conductimètre type HANNA HI 98311.

Les analyses physico-chimiques de l'ensemble des échantillons ont été réalisée avec le matériel de notre promoteur Mr. ISSAAD au laboratoire de sédimentologie de département de Géologie, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Campus Tamda) (2017).

3.3.2. Caractérisation minéralogique :

La minéralogie des résidus et des roches stériles est déterminée par un loupe binoculaire, microscopie optique (MO), la diffraction aux rayons X (DRX) et l'analyse élémentaire par fluorescence X (SFX).

3.3.2.1. Observation à la loupe binoculaire :

L'étude minéralogique a été réalisée à l'aide d'une loupe binoculaire de marque OPTIKA sur les deux fractions granulométriques inférieur à 0,125 mm et entre 0,125 et 0,250 mm. Elle a été effectuée sur une petite quantité (environ 1 g) sur les échantillons : SK DIG2, SK1 F, SK1 J, SK3 R-G, SK4, SKJ, SKR, pour déterminer leur composition minéralogique, c'est une étude qualitative.

	Oculaires
	Ajustement dioptrique
	Vis de zoom
	Bloc Objectifs
	Éclairage
C SAR	Vis de mis en point
	Platine réversible
	Socle

Figure 31 : Photo de loupe binoculaire utilisé pour l'étude.

L'étude minéralogique à la loupe binoculaire de l'ensemble des échantillons ont été réalisée au laboratoire de sédimentologie de département de Géologie, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Campus Tamda, (2017).

3.3.2.2. Observation au microscope optique (MO) :

A. Réalisation d'une lame mince :

La réalisation d'une lame mince a été fait sur l'échantillon SK, elle à exige les étapes suivantes :

La roche est taillée à la scie pour obtenir un parallélépipède appelé communément "sucre". Une face est ensuite surfacée par différentes méthodes (au lapidaire avec du carbure de silicium ou à l'aide de grilles à plots diamantés). Après séchage et chauffage, une lame de verre dépolie est collée sur la face du "sucre" avec de la résine puis est mise sous presse. Une fois la résine polymérisée, l'échantillon est amené à une épaisseur d'environ 150 micromètres avec la rectifieuse à meule à grains moyens puis à environ 40 micromètres grâce à celle à grains fins. L'épaisseur adéquate (30 micromètres) est obtenue par une finition au lapidaire si la lame est destinée à être couverte, ou à la rôdeuse dans le cas où elle doit être polie. Dans le premier cas, on applique une lamelle de verre pour protéger l'échantillon, dans l'autre on passe la lame sur une polisseuse avec différents draps de polissage jusqu'à obtention du poli désiré.



Figure 32 : 1. Photo de l'échantillon SK, 2. La lame mince réalisé à partir de l'échantillon SK.

La lame mince a été réalisées au laboratoire des lames minces du la Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et de l'Aménagement du Territoire - Université des Sciences et de la Technologie HOUARI BOUMEDIENE, Alger (2017).

L'échantillon de roche SK est préparé afin d'obtenir une lame mince, qu'on a observé avec un microscope optique analyseur de type Motic BA310 POL.

Le microscope optique utilisé c'est un microscope polariseur analyseur muni de deux filtres polarisants, appelés polariseur et analyseur. Il est utilisé en pétrographie pour l'observation et l'identification des minéraux dans les roches. Le principe de fonctionnement repose sur l'utilisation d'un faisceau de lumière polarisée (par le polariseur). L'échantillon de roche à observer est préparé afin d'obtenir une lame mince.



Figure 33 : Photo de microscope optique analyseur de type Motic BA310 POL.

L'observation et l'étude de la lame mince a été fait au département de Géologie, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Campus Tamda, (2017).

B. Réalisation des sections polies :

B.1. Réalisation des sections polies avec les déchets miniers fins (sables fins) :

La réalisation de ce type de sections polies est faite avec les échantillons sableux (SK DIG2, SK1 F, SK1 J, SK3 R-G, SK4, SKJ, SKR) sur les deux fractions granulométriques inférieures à 0,125 mm et inférieurs à 0,250 mm.

On a fait la préparation de la résine suivant les doses indiquées par le fabriquant dans des moules en aluminium, on mélange bien la résine par la suite, on ajoute environ 4 g de l'échantillon sableux et on mélange encore, et puis on met le moule sur la tamiseuse et on le laisse vibré environ 15 min pour faire remonter toute les bulles d'air piégés dans la résine, et on les laisse sécher pendant trois jours, en fin on démoule les sections polies.



Figure 34 : 1. La résine utilisée pour la réalisation des sections polies (GRANITEX). 2. Un moule sur la tamiseuse.



Figure 35 : Photos des sections polies couléer dans des moules en aluminium.



Figure 36 : Photos des sections polies réalisés à partir des déchets miniers.

B.2. Réalisation des sections polies sur des roches solides :

La réalisation des sections polies est portée sur les échantillons rocheux SK1, SK2, SK3. Chaque échantillon de roche est taillé à la scie sur la face représentative qui nous intéresse pour notre étude. Une fois cette étape est faite pour tous les échantillions déjà mentionné, on passe au polissage.



Figure 37 : Photos des sections polies réalisées à partir des Haldes a stériles.

B.3. Le polissage :

Le polissage proprement dit a pour but principal l'obtention d'une surface plane de rugosité minimale, mais également l'élimination de la couche superficielle de l'échantillon dont la microstructure pourrait être non-représentative du matériau (couches d'oxydes qui provenant de découpe...).

Le polissage est pratiqué à la main en deux étapes. La première consiste à un polissage de la surface de la roche déjà taillé à l'aide d'une plaque de verre recouverts de poudre abrasive de granulométrie décroissante (320, 600, 800, 1000). La seconde, appelée polissage fin, est effectuée à l'aide d'un morceau de tissu contenant une pâte d'alumine. Pour ces deux stades, l'utilisation d'un lubrifiant (de l'eau) est indispensable afin d'éviter tout échauffement de matériau. Le rinçage de l'échantillon, est requis à chaque changement de verre ou de tissu afin d'éviter que des particules de grand diamètre ne polluent pas le stade de polissage à plus faible granulométrie.



Figure 38 : Photo montre une étape de polissage pratique sur les échantillons.

Les sections polies et le polissage de l'ensemble des échantillons ont été réalisée au laboratoire de sédimentologie de département de Géologie, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Campus Tamda, (2017).

Les sections polies réalisées avec les échantillons des rejets miniers fins et des roches, ont été observé avec un microscope métallographique de type ZEISS.

Le microscope métallographique est fait à l'aide d'un microscope optique utilisant une source lumineuse qui envoie la lumière sur l'échantillon à travers un dispositif optique. Les rayonnements réfléchis par l'échantillon sont repris par la lentille objective qui donne une première image intermédiaire qui grâce à un miroir semi-réfléchissant, elle est renvoyée vers l'œil du manipulateur à travers une lentille oculaire. L'appareil permet également d'obtenir des photos à travers une caméra solidaire.



Figure 39 : Photo de microscope métallographique de type ZEISS.

L'observation et l'étude des sections polies ont été fait au laboratoire de géologie minière du la Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et de l'Aménagement du Territoire - Université des Sciences et de la Technologie HOUARI BOUMEDIENE, Alger (2017).

3.3.2.3. L'analyse par Diffraction des Rayons X (DRX) :

L'analyse par DRX est effectuée pour l'étude minéralogique. Par cette analyse, les rayons X bombardent l'échantillon sous différents angles. Chaque minéral contenu dans l'échantillon diffracte le rayon incident d'un angle précis (l'angle de Bragg) qui dépend de leur cristallographie. L'intensité du rayonnement qui a été diffractée pour chaque angle d'incidence est enregistré dans un spectre appelé diffractogramme et c'est ce dernier qui permet, dans une première phase, l'identification des minéraux constituant l'échantillon, la hauteur des pics du diffractogramme est proportionnelle à l'intensité de la diffraction (GUINEBRETIERE, R., 2002).

Les analyses DRX ont été réalisées sur les échantillons DSK2, DSK4, SK1, SK7, SK11 aux Japon en Décembre 2015, de la part de notre promoteur Mr. ISSAAD, avec un appareil de type RIGAKU Ultima IV.

3.3.3. Caractérisation chimique :

3.3.3.1. L'analyse par fluorescence des rayons X, analyse (XRF) :

La fluorescence des rayons X (XRF) est une technique non destructrice qui sert à quantifier la composition élémentaire des échantillons solides et liquides. On utilise les rayons X pour exciter les atomes qui sont dans l'échantillon, ce qui leur fait émettre des rayons X à énergie caractéristique de chaque élément présent. L'intensité et l'énergie de ces rayons X sont ensuite mesurées, pour déterminée la composition élémentaire, c'est-à-dire les concentrations massiques en éléments.

Les analyses XRF ont été réalisées sur les échantillons SK E1, SK E2, SK E3, SK W1, SK W2, SK W3, aux Japon en Décembre 2015, de la part de notre promoteur Mr. ISSAAD, avec un appareil de type RIGAKU RIX 3100.

3.3.3.2. L'analyse par spectrométrie d'absorption atomique :

L'analyse par spectrométrie d'absorption atomique a porté sur la détermination des éléments métalliques traces, L'analyse se base sur l'absorption de photons par des atomes à l'état fondamental. Le principe de l'analyses comportent la destruction complète de la matrice des sédiments par leur dissolution dans de l'acide concentré, suivie de l'analyse par spectromètre d'absorption atomique de la solution ainsi obtenue.

L'appareil utilisé pour notre analyse est un spectromètre d'absorption atomique muni d'un dispositif à génération de flamme air-acétylène et protoxyde d 'azote-acétylène, l'appareil et de type VARAIN AA240.

L'analyse élémentaire est effectuée sur les échantillons solides : DSK 1, DSK 2, DSK 3 et DSK 3G, pour les éléments chimiques Cu, Pb, Zn, Cd, As et Fe. La préparation des échantillons est faite sur 3 étapes :

1. Une digestion est faite sur chaque échantillon, avec 10 ml de HF pour dissoudre et élimine la silice et 5 ml de HClO₄ pour attaquer la matière organique et puis une évaporation à sec été faite.

2. Dans un bécher de 200 ml, ajouter à 0,5 g d'échantillon, 10 ml d'acide nitrique (HNO₃) concentré et 0,5 ml de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) a 30 %. Evaporer lentement jusqu'à siccité.

3. Pour dissoudre les éléments métalliques on ajoute 10 ml HCl et ont chauffé à 400 °C pendant 10 min.



Figure 40 : Photo de l'ensemble du spectromètre d'absorption atomique VARAIN AA240.

Les analyses par spectrométrie d'absorption atomique ont été réalisées au laboratoire de chimie à l'ORGM, BOUMERDAS (2017).

Chapitre 4

Résultats et Interprétations

4.1. Granulométrie :

La granulométrie est le facteur naturel le plus important, susceptible d'affecter la réactivité des sulfures (Pyrite, Chalcopyrite, Galène, Sphalérite) en milieu oxydant. En effet plus la granulométrie est fine plus la surface spécifique est grande, ce qui augmente la surface de contact des rejets minier avec l'eau et l'oxygène, et ainsi la réaction sera importante.

Les résultats des analyses obtenus selon la norme française P 94-056 sont consignés dans le tableau suivant :

Type :	Gra	vier	Sable gr	ossier		Sable fir	1	Pe	elite	
Diamètre (mm) :	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	0,045	< 0,045	
Refus (%)	43,1	21,69	11,86	6,64	5,12	4,21	3,36	1,78	2,13	
SK3 R-G	64,79		18,	18,5		12,69			3,91	
Refus (%)	37,09	22,24	14,71	8,96	6	4,38	3,31	1,47	1,85	
SKR	59,33		23,6	57		13,69			3,32	
Refus (%)	42,02	14,92	10,7	8,73	7,18	6,23	5,41	2,75	1,92	
SK1 J	56,94		19,43		18,82			4,67		
Refus (%)	0	0	0,05	0,03	0,98	42,87	35,15	10,32	10,13	
SK4	0		0,08		79			20,45		
Refus (%)	0	0	0	0,01	0,2	39,16	37,28	11,05	11,78	
SK DIG2	(C	0,0	0,01		76,64		22,83		
Refus (%)	0	0	0	0	0,38	38,01	36,8	10,66	13,82	
SKJ	(D	0			75,19			24,48	
Refus (%)	0	0,4	4,29	4,24	20,54	30,99	22,86	7,1	9,45	
SK1 F	0	,4	8,5	3	74,39			16,55		

Tableau 12 : Tableau des textures des échantillons prélevés dans la région de SIDI-KAMBER.

Les analyses granulométriques effectuées ont donné deux résultats :

- 1. Gravier dans la zone Ouest de SIDI-KAMBER.
- 2. Sable fin dans la zone Est de SIDI-KAMBER.

Cette différence est due à la technique de traitement du minerai, déchet minier de traitement par gravité dans la zone Ouest et par flottation dans la zone Est.

Au début de l'exploitation de la mine de SIDI-KAMBER, le choix s'est porté sur le traitement par gravité pour récupérer la Galène (Teneur importante en Plomb). Par la suite, l'usine est passée au traitement par flottation pour récupérer la Sphalérite quand les teneurs de Plomb ont diminué. Par ailleurs, l'inconvénient de traitement par gravité, est que la Barytine est associée à la Galène ce qui rend la séparation de ces deux minerais compliqués. Ce qui explique les différentes distributions granulométriques issu de l'analyse, sédiment grossier issu du traitement par gravité dans la zone Ouest de l'ancienne mine abandonnée de SIDI-KAMBER, et sédiment fin issu du traitement par flottation dans la zone Est de l'ancienne mine abandonnée de SIDI-KAMBER.

Résultats Et Interprétations



Figure 41 : Distribution granulométrique des rejets de la mine abandonnée de SIDI-KAMBER.





4.2. Minéralogique des sédiments :

4.2.1. Observation à la loupe binoculaire :

L'observation des sédiments sous la loupe binoculaire montre que les grains ont une forme anguleuse de diamètre inférieur à 0,5 mm, car ils n'ont pas subi de transport.

Les sédiments sont constitués essentiellement de Quartz et de Feldspath, on note l'existence des minéraux métalliques (Pyrite, Galène et Sphalérite) sous forme de petits cristaux de couleur sombre, à éclat métallique et des traces de sulfures, et grâce à l'échelle on peut dire que ces éléments se présentent sous forme de type sable fin, issu du processus de traitement du minerai.



Figure 43 : Photos montrant les éléments de déchet miner sous une loupe binoculaire.

4.2.2. Observation au microscope optique :

4.2.2.1. Observation de la lame mince :

> Description macroscopique :

L'échantillon de roche est un gneiss œillé de texture foliée ce qui dénote leur caractère métamorphique. Les minéraux clairs, majoritaires, sont représentés par le Quartz, à éclat vitreux, et les Feldspaths, de teinte blanchâtre à rose, de grande taille sous forme ovoïde. Les minéraux sombres correspondent en général à la Biotite. L'abondance des minéraux clairs et notamment des Feldspaths, la faible proportion de minéraux sombres et la forte cohésion qui en résulte sont des caractères de Gneiss.



Figure 44 : Photo macroscopique de l'échantillon SK et vue en lame mince.

> Description microscopique :

L'observation de la lame mince sous microscopique en LPNA montre la présence des micas (Biotite) qui exprime les plans de foliation et apparaissent donc allongé.



Figure 45 : Photo microscopique montre la Biotite en LPNA et LPA.

En LPA en note la présence des Feldspaths avec une biréfringence faible donnent des teintes ne dépassant pas les gris à gris clairs, représenté par l'Orthose qu'es caractérisé par une macle de Carlsbad, et aussi on a identifié le Microcline avec un macle polysynthétique.



Figure 46 : Photos microscopique montrent l'Orthose et le Microcline en LPA.

Le Quartz en LPA a une biréfringence faible, avec des teintes de polarisation dans les gris. Certains cristaux montre une extinction roulante ; En LPNA, le Quartz apparaît sous forme de plages très limpides. Les cristaux sont le plus souvent xénomorphes.



Figure 47 : Photo microscopique montre l'Quartz en LPA et LPNA.

Jusqu'à cette analyse, on n'a pas noté la présence des minéraux carbonatés, on a trouvé que des minéraux silicatés (Orthose, Biotite, Plagioclase, Quartz) qui ont un faible pouvoir de neutralisation d'acidité par rapport au minéraux carbonatés, car leur réactivité est très faible et lente, voir nul pour le Quartz. Ces minéraux silicatés sont réactifs dans des pH très bas, inférieure à deux, et sont classés selon leur réactivité de cette manière : Biotite, Orthose, Plagioclase, Quartz.

Le tableau suivant montre les types de réaction des différents groupes des minéraux neutralisants et leurs réactivités à pH égale 5.

Réaction	Groupe Minéral et Minéraux Typiques	Réactivité relative a pH 5
Dissolution	Calcite, Aragonite, Dolomite, Magnésite, Brucite.	1,0
Altération Rapide	Anorthite, Néphéline, Forsténte, Olivine, Grenat, Jadéite, Leucite, Spodumène, Diopside, Wollastonite.	0,4
Altération Intermédiaire	Sorosilicates (épidote, Zoisite). Pyroxènes (Enstatite, Augite, Ferrosilite, Hédenbergite). Amphiboles (Hornblende, Glaucophane, Trémolite, Actinolite, Anthophyllite). Phyllosilicates (Serpentine, Chrysotile, Talc, Chlorite, Biotite).	0,02
Altération Lente	Plagioclases (Albite, Oligoclase, Labradorite). Argiles (Vermiculite, Montmorillonite).	0,01
Altération Très Lente	Feldspaths Potassiques, Muscovite.	0,01
Inerte	Quartz, Rutile, Zircon	0,004

Tableau 13 : Réactivité des minéraux neutralisants (Adapté de SVERDRUP, 1990).

4.2.2.2. Observation des section polies :

> Déchet miner en section polie :

Pyrite (FeS₂) : Elle est représentée par de petits cristaux cubiques, on la trouve le plus souvent très altérée.



Figure 48 : Photo microscopique montre la Pyrite très altérée.

5 µm



Galène

Galène (PbS) : Elle apparait sous forme de petits cristaux ou en plages très altéré.

Figure 49 : Photo microscopique montre la Galène très altérée.

5 µm

> Sections polies des Haldes a stériles :

Pyrite (FeS₂) : Elle est représentée avec une couleur jaune et un pouvoir réflecteur moyen, on la trouve le plus souvent un peu altérée.

Galène (PbS) : Elle apparait sous forme de petits cristaux ou en plages d'une couleur grise et d'un pouvoir réflecteur faible, elle présente des arrachements triangulaires caractéristiques, le plus souvent elle est associée à la Sphalérite.



Figure 50 : Photo microscopique montre la Pyrite et Galène.

Sphalérite (ZnS) : Elle est sous forme de plages grise très altéré associée à la galène.



Figure 51 : Photo microscopique montre la Sphalérite très altérée associée à la Galène.

4.3. Analyse par Diffraction des Rayons X (DRX) :

Les résultats d'analyse par diffraction des rayons X (DRX) effectuée sur l'échantillon DSK 2 sont représentation sur l'histogramme suivant :





D'âpre le résultat de l'analyse, le rejet miner est constitué essentiellement de Quartz et de la Barète, et un faible pourcentage de la Biotite, ainsi qu'un faible pourcentage de deux éléments métalliques, la Chalcopyrite et la Pyrite. Cela confirme la vue globale de la constitution des sédiments vu à partir de microscope, comme on peut déduire aussi l'absence totale des minéraux carbonatés (Calcite CaCO₃, Dolomite Mg(CO₃)², etc).

4.4. Analyse par fluorescence des rayons X, analyse (XRF) :

Les résultats de l'analyse chimique exprimés en pourcentage (%) sont représenté dans le tableau suivant :

	Si	Ti	AI	Fe	Mn	Mg	Са	Na	К	Р
SK-W1	21.967	0.311	5.295	5.150	0.017	0.233	1.169	0.322	0.894	0.055
SK-W2	23.542	0.361	7.042	4.110	0.002	0.149	1.008	0.240	1.138	0.260
SK-W3	26.438	0.344	5.621	2.781	0.000	0.092	0.300	0.238	0.985	0.016
SK-E1	23.599	0.306	4.557	2.962	0.000	0.083	0.786	0.238	0.825	0.071
SK-E2	22.147	0.315	5.324	5.213	0.019	0.227	1.174	0.325	0.902	0.055
SK-E3	23.172	0.349	7.009	3.966	0.003	0.154	0.973	0.241	1.113	0.253

Tableau 14 : Résultats d'analyse par fluorescence des rayons X exprimés en pourcentage (%).



Figure 53 : Histogramme des pourcentages des éléments chimique dans les échantillons.

A partir des résultats obtenus par l'analyse spectrométrique de fluorescence des rayons X, représentés sur l'histogramme, on observe que tous les échantillons contiennent un grand pourcentage de Silicium (Si) qui est un composant de Quartz (SiO₂) ce qui confirme l'existence de ce dernier, et en reliant le Silicium à l'Aluminium, on confirme l'existence des Feldspath potassique (KAlSi₃O₈) (Orthose et Microcline), et la Biotite qui est un minéral du groupe des silicates, ainsi qu'un pourcentage important pour le Fer qui est un élément métallique qu'on peut le relié à l'existence de la Pyrite (FeS₂) et/ou de la Chalcopyrite (CuFeS₂).

Cette analyse nous confirme beaucoup plus l'existence des éléments métalliques (Pyrite, Chalcopyrite), qui sont les éléments principaux de l'oxydation de Fer, et l'inexistence des minéraux carbonatés qui permettent la neutralisation de l'oxydation.

4.5. Analyse chimique des éléments trace métalliques (ETM) :

Les résultats de l'analyse chimique par absorbation atomique exprimés en pourcentage (%) sont représenté dans le tableau suivant :

Nom d'échantillon		Eléments Analyses Tenneurs en %									
	Cu	Pb	Zn	Cd	As	Fe					
DSK 1	0,006	0,129	0,149	< 0,003	< 0,05	2,273					
DSK 2	0,010	0,138	0,214	< 0,003	< 0,05	2,195					
DSK 3	0,014	0,134	0,595	< 0,003	< 0,05	3,304					
DSK 4	0,012	0,127	0,573	0,007	< 0,05	3,952					

Tableau 15 : Tableau de Résultats des analyses chimiques des échantillons de sol.

Les éléments en trace les plus importants sont le Plomb et le Zinc, c'est normal vu que ce sont les composants des minerais exploités c'est des teneurs logiques. Ces teneurs sont reliées à la nature de minerai Plombo-Zincifère, le minerai de Galène (PbS) pour le Plomb et la Sphalérite (ZnS) pour le Zinc.



Figure 54 : Représentation graphique des teneurs de Plomb et le Zinc en %.

Il y a des grands pourcentages de Fer par rapport aux autres éléments chimiques et on le relie directement à la présence de la Pyrite (FeS₂).



Figure 55 : Représentation graphique des teneurs de Fer en %.
Chapitre 4 :

La présence de Cuivre est reliée à la Chalcopyrite (CuFe₂) et/ou des traces de Cuivre grés $((Cu,Fe,Zn,Ag)_{12}(Sb,As)_4S_{13})$.



Figure 56 : Représentation graphique des teneurs de Cuivre en %.

L'Arsenic et le Cadmium ont un faible pourcentage, ils sont inférieurs à la limite de détection de l'appareil.

En comparant ces résultats à la norme de sol, on trouve que les teneurs de Plomb, Zinc et Fer, sont supérieure. Cela engendre un impact négatif sur le sol a la présence de l'oxygène et l'eau (oxydation).

Nom d'échantillon		Eléments Analyses Tenneure en PPM					
		Pb	Zn	Cd	As	Fe	
DSK-1	60	1290	1490	< 30	< 500	22730	
DSK-2	100	1380	2140	< 30	< 500	21950	
DSK-3	140	1340	5950	< 30	< 500	33040	
DSK-4	120	1270	5730	70	< 500	39520	
Valeurs normales (BOWEN, 1979)		35	90	0,35	6	/	
Valeurs limites (BAIZE)		100	300	2	15	/	

Tableau 16 : Tableau de comprissent entre les résultats des analyses chimiques des rejets deSIDI-KAMBER et la norme de BOWEN et BAIZE.

4.6. pH, Conductivité électrique et le potentiel d'oxydoréduction :

Les résultats des analyses de pH, conductivité et le potentiel d'oxydoréduction sont consignés dans le tableau suivant :

Nom	Granulométrie	Masse	Masse d'échantillon	Faiblement Oxygénée		Oxygénée	
écha.	(Um)	d echantilion (g)	+ Masse H ₂ O (g)	рН	Redox (mV)	рН	Cond. (ms)
SKR	< 125	2,03	80,86	6,52	348,4	4,82	0,6
	[125 - 250]	2,00	56,92	6,64	230,02	6,17	0,68
SK1 J	< 125	2,02	61,77	5,70	409,4	5,24	1,03
	[125 - 250]	2,00	71,82	6,39	371,4	4,23	1,17
SK4	< 125	2,02	86,34	5,18	434,1	3,48	1,77
	[125 - 250]	2,00	73,74	5,18	300,1	4,07	1,58
SK1 F	< 125	2,00	66,39	6,34	492,0	3,76	1,14
	[125 - 250]	2,00	87,45	6,95	326,6	5,89	0,92
SK3 R-	< 125	2,01	84,91	6,78	360	4,83	0,59
G	[125 - 250]	2,00	63,42	6,74	364,6	5,82	0,67
SK	< 125	2,04	70,26	4,68	392,4	2,97	1,42
DIG2	[125 - 250]	2,01	62,36	5,17	380,1	3,95	1,18
SKJ	< 125	2,00	68,24	6,62	401,2	4,02	1,46
	[125 - 250]	2,00	67,81	6,55	370,5	5,54	1,03

Tableau 17 : Tableau de résultat des analyses de pH, Rédox et conductivité.

L'analyse de pH a démontré qu'il est globalement acide, cependant quand on oxygène le rejet miner, l'acidité est beaucoup plus importante, surtout quand les grains sont fin (taille des grains inférieure à 0,125 mm) le pH descend jusqu'à 2,97. Ce qui confirme que l'acidité provient de l'oxydation de la Pyrite.



Figure 57 : Nuages de points de conductivité par rapport au pH.

Chapitre 4 :

La conductivité : d'après l'analyse on a une conductivité importante qui démontre que le sédiment rejette des ions dont on ne peut pas déterminer la nature exacte, on peut donc conclure qu'une conductivité importante veut dire que l'oxydation libère probablement des ions métalliques.

Sources d'eau	Conductivité
Eau Pure	0,055 μS/cm
Eau Distillée	0,5 μS/cm
Eau de Montagne	1,0 μS/cm
Eau Courante	500 à 800 μS/cm
Maximum pour l'eau potable	1055 μS/cm
Eau de Mer	56 mS/cm
Eau Saumure	100 mS/cm

Tableau 18 : Conductivité de différences sources d'eau (AQUATECHNIQUE, 2003).

Le potentiel d'oxydoréduction : l'analyse a donné des valeurs positives très importantes, ce qui signifie un milieu très riche on oxygène, ce qui amené à l'oxydation de la Pyrite, et ce qui est logique car les résultats de pH, la conductivité et le rédox sont tous concordants.



Figure 58 : Nuages de points de Redox par rapport au pH.

Potentiel d'oxydoréduction important avec des pH très bas liée au milieu oxydant, ce qui signifie un milieu acide favorable à la mobilité des métaux (élément mobile). Donc le rejet miner rejette probablement des éléments métalliques.

La seule chose qui limite le potentiel danger de la libération des métaux lourds dans le sol c'est que les fractions granulométriques des rejets miner sont un peu grossières, ce qui limite beaucoup l'acidité, dans la zone Ouest de SIDI-KAMBER car les grains sont de type gravier, et dans la zone Est de SIDI-KAMBER l'acidité est un peu limité, car les grains sont de type sable fin.

Mais un autre élément aggravant, est l'abondance de la Pyrite dans le rejet miner, et on n'a pas prouvé l'existence des éléments carbonatées neutralisants. Le seul élément neutralisant qui existe dans les rejets miner est la Biotite qui commence à réagir qu'a des pH très bas, inférieure à deux, pour l'instant elle réagit pas car on a des pH aux alentours de quatre.

Conclusion Générale

Conclusion Générale :

Les analyses granulométriques effectuées ont donné deux résultats, gravier dans la zone Ouest de SIDI-KAMBER et sable fin dans la zone Est de SIDI-KAMBER. Les sédiments fins ont une grande surface spécifique donc ils couvrent une grande surface de sol, cela implique un grand contacte avec l'eau et l'oxygène.

L'observation des sédiments sous la loupe binoculaire montre que les grains des rejets miniers de mine abandonnée de SIDI-KAMBER ont une forme anguleuse car ils n'ont pas subi de transport, leur diamètre est inférieur à 0,5 mm, on note la présence des grains de couleur sombre, à éclat métallique et des traces de sulfures dans la composition minéralogique de ces rejets miniers.

L'analyse minéralogiques, qui se résument à l'observation microscopique a permet de donnée une vue globale des rejets qui son constitué des minéraux silicatées (Orthose, Biotite, Plagioclase, Quartz) qui ont un faible pouvoir de neutralisation d'acidité par rapport au minéraux carbonatées qui sont totalement absents, ainsi que des minéraux métalliques principalement la Pyrite qui est le principal générateur d'acidité.

L'analyse DRX et l'analyse spectrométrique de fluorescence des rayons X, confirme beaucoup plus l'existence des éléments métalliques (Pyrite, Chalcopyrite), qui sont les éléments principaux de l'oxydation de Fer, et l'inexistence des minéraux carbonatés qui permettent la neutralisation de l'oxydation.

Les résultats des analyses chimiques (ETM) montrent la présence de Plomb, Zinc et le Fer avec des teneurs importantes dans les rejets miniers de SIDI-KAMBER qui dépasse les limites de la norme normale dans le sol.

Le pH acide et une conductivité électrique importante favorisent l'oxydation des minéraux sulfuriques par la présence de l'eau et de l'oxygène pour produire de l'acide ce qui réduit le pH de l'eau et entraîne la mobilisation des métaux lourds dommageables pour l'environnement.

Vu que les roches qui affleure dans cette région ont un faible pouvoir de neutralisation d'acidité, et tous ces résultats obtenues nous a permet de dire que dans cette région les conditions favorisent la formation de DMA, ce qui rend le rejet miner de SIDI-KAMBER potentiellement dangereux.

Cependant, il serez intéressent de faire des essais de lixiviation plus poussés à long terme pour pouvoir voir le comportement de rejet miner et analyser la composition chimique de fluide récupéré, car tous les tests qu'on a faits sont bons, mais ils sont valables à court terme, car en réalité le sédiment n'est pas inondé, mais dans notre test on l'a inondé et l'oxygène va être limité donc la réaction d'oxydation va s'arrêté dans un certain moment à l'épuisement de l'oxygène dans l'eau, ce qui signifié que le vrai danger de drainage miner acide ce n'est pas qu'il soit inondé, mais qu'il soit un cycle d'inondation et séchage.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques :

AQUATECHNIQUE, (2003) :

(http://aquatechnique.pagesperso-orange.fr/Techniques/page %20conduc.htm)

ARTIGNAN, D., COTTARD, F., (2003) : Éléments à prendre en compte pour l'évaluation des impacts environnementaux dans l'élaboration d'un Plan de Prévention des Risque Miniers (PPRM). Rapport BRGM/RP-52049-FR, 46 p.

AUBERTIN, M., BUSSIÈRE, B. et BERNIER, L., (2002a) : Environnement et gestion des résidus miniers. Presses Internationales de Polytechnique, Corporation de l'École Polytechnique de Montréal, Montréal.

AUBERTIN, M., BUSSIERE, B., et BERNIER L., (2002) : Environnement et gestion des résidus miniers. CD, Presses Internationales Polytechnique, Montréal (Canada).

BEYLARD David, Genève, (2009) : L'inventaire des gisements de matières premières de l'Algérie, journal les Afriques.

BLAZY, P., et JDID, E.A., (2000): "Flottation. Aspects pratiques". Techniques de l'Ingénieur, J 3 360.

BLAZY, P., JOUSSEMENT, R., (2005) : "Le traitement par gravité". Techniques de l'Ingénieur, J 3 190, J 3 191, J 3 192.

BLOWES, D.W., PTACEK, C.J., (1994) : Acid-neutralization mechanisms in inactive mine tailings. Short Course Handbook on Environmental Geochemistry of Sulfide Mine-Waste, Jambor, J.L., Blowes, D.W. (eds). Mineralogical Association of Canada. Special Vol. 22, pp.272-292.

BLOWES, D.W., PTACEK, C.J., JAMBOR, J.L. et WEISENER C.G., (2003). The geochemistry of acid mine drainage, 149-204. In : Environmental Geochemistry (ed B.S. Lollar) Vol 9. Treatise on Geochemistry (eds. H.D. Holland and K.K. Turekian), Elsevier-Pergamon, Oxford.

BLOWES, D.W., REARDON, E.J., JAMBOR, J. L et CHERRY, J. A., (1991) : The formation and potential importance of cemented layers in inactive sulfide mine tailings. Geochimica et Cosmochimica Acta, 55 : 965-978.

BOUABDESSELAM H. ; LIAZID A. ; BOUZIDI Y., (2005) : La politique environnementale en Algérie : Réalités et perspectives = Environmental policy in Algeria.

BRGM, (1997) : Les résidus miniers français : typologie et principaux impacts environnementaux potentiels. Rapport R39503, 85 p.

BUSSIERE, 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 abandonnés". In : Symposium 2005 sur l'environnement et les mines, Rouyn-Noranda, Québec, Canada.

CHAGUER Mounia, (2013) : Analyse et Spéciation des Métaux dans un Oued en zone Minière, Cas de l'Oued Essouk, 2013. Doctorat es science en chimie, 146 p.

COUSSY Samuel, (2011) : Stabilisation de rejets miniers pollues à l'arsenic à l'aide de sous-produits cimentaires : étude de l'influence de la cristallochimie sur le risque de mobilisation des polluants,

Thèse de doctorat, L'institut national des sciences appliquées de Lyon, L'université du Québec en Abitibi Témiscamingue, 380p.

EPA, (1994): Acid mine drainage prediction. Technical Document, EPA530-R-94-036, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste, Special Waste Branch, Washington, DC 20460, 52p.

FERGUSON, K.D. and ERICKSON, P.M., (1988) : Pre - Mine Prediction of Acid Mine Drainage. In : Dredged Material and Mine Tailings. Edited by Dr. Willem Salomons and Professor Dr. Ulrich Forstner. Copyright by Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1988.

GUINEBRETIERE, R., (2002): Diffraction des rayons X sur échantillons polycristallins - instrumentation et étude de la microstructure (2^{eme} édition revue et augmentée).

JAMBOR, J.L., (1994) : Mineralogy of sulfide-rich tailings and their oxidation products. Short Course Handbook on Environmental Geochemistry of Sulfide Mine-Waste, Jambor J.L., Blowes, D.W. (eds.). Mineralogical Association of Canada. Special Vol. 22, p 59-102.

KEITA Seydou, (2005) : L'évaluation Environnementale Et La Prévention Des Eaux De Drainage Acide Dans Les Exploitations Minières.

KLEINMANN, R.L.P., CRERAR, D.A., PACELLI, R.R., (1981): Biogeochemistry of acid mine drainage and a method to control acid formation. Mining Engineering, 81 : 300-304.

LAWRENCE, R.W. et SCHESKE, M., (1997) : A method to calculate the neutralization potential of mining wastes. Environmental Geology, 32 : 100-106.

LOWSON, R.T., (1982) : "Aqueous oxidation of pyrite by molecular oxygen". Chemical Reviews 82(5), 461-497.

MARIKHIN, V., (1968) : rapport concernant les travaux géologiques et prospection effectués en Kabylie de Collo et dans la chaine numidique durant les années 1966-1967, SONAREM 1968.

MEND, (2004) : Review of water quality issues in neutral pH drainage : examples and emerging priorities for the mining industry in Canada. MEND Report 10.1. Prepared by Stantec Consulting Ltd. (Brampton). November 2004.

Meteovista, (2017) : (<u>http://fr.meteovista.be/Afrique/Algerie/Sidi-Kamber/2328950</u>)

MONCUR, M.C., PTACEK, C.J., BLOWES, D.W., ET JAMBOR, J.L., (2005): Release, transport and attenuation of metals from an old tailings impoundment. Applied Geochemistry, 20 : 539-659.

MORIN : Practical Theory and Studies, Digital Edition (<u>http://www.mdag.com/index-mine.html</u>).

Notice de AÏN-KECHERA (SONAREM, 1970) : Notice explicative de la carte géologique de l'Algérie du Nord au 1/50 000 - Feuille N° 30 AÏN-KECHERA.

NRIAGU, J.O., WONG, H.K.T., LAWSON, G., et DANIEL, P., (1998) : "Saturation of ecosystems with toxic metals in Sudbury basin, Ontario, Canada". The Science of the Total Environment 223, 99-117.

PERKINS et al., (1995) : Critical review of geochemical processes and geochemical models adaptable for prediction of acidic drainage from waste rock. Report 1.42.1, Mine Environment Neutral Drainage (MEND).

Rapport SONAREM, (1966-1967) : Rapport Sur Les Travaux De Prospection Géologique Effectué Dans La Kabylie De COLLO Et La Chaine Numidique en 1966-1967.

Rapport SONAREM, (1968-1970a): Rapport De Travaux De Recherches Et De Prospection Géologique Réalises Dans La Kabyles De Collo 1968-1970.

Rapport SONAREM, (1968-1970b) : Rapport Des Travaux De Recherches Et De Prospection Géologique Effectues Sur Le Gisement Polymétallique De SIDI-KAMBER 1968-1970.

Rapport SONAREM, (1971) : Rapport Des Travaux De Recherches Et De Prospection Géologique Effectues Sur Le Gisement De SIDI-KAMBER 1971.

Rapport SONAREM, (1978-1979) : Résumé du rapport sur les travaux de prospection et d'évaluation sur la barytine réalisée sur le champ minier de SIDI-KAMBER et sur la surface de DAHNA-AIN-ZOUIT 1978-1979.

RITCEY, G.M., (2005): "Tailings management in gold plants". Hydrometallurgy 78, 3-20.

RITCHIE, A.I.M., (1994) : The waste-rock envuonment, Dans : Short course on environmental geochemistry of sulfide mine-wastes, Mineralogical Association of Canada, vol 22. p. 133-162.

SRACEK, O., CHOQUETTE, M., GELINAS, P., LEFEBVRE, R., et NICHOLSON, R.V., (2004): "Geochemical characterization of acid mine drainage from a waste rock pile, Mine Doyon, Québec, Canada". Journal of Contaminant Hydrology 69, 45-71.

STRÖMBERG, B., (1997): Weathering Kinetics of Sulphidic Mining Waste : an Assessment of Geochemical Process in the Aitik Mining Waste Rock Deposits. AFR-Report 159, Department of Chemistry, Inorganic Chemistry, Royal Institue of Technology, Stockholm, Sweden.

VICK, S.G., (1990) : Planning, Design, and Analysis of Tailings Dams. Bitech Publishers, Vancouver, B.C., Canada, 342p.

VILLA, M., (1869) : Notice Des Gites Minéraux Et Les Matériaux De Construction De L'Algérie, Ingénieur En Chef Des Mines. P5, 70p.

VILLENEUVE, M., (2004) : Évaluation du comportement géochimique à long terme de rejets miniers à faible potentiel de génération d'acide à l'aide d'essais cinétiques. Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal, 288p.

VILLENEUVE, M., (2004). : Évaluation du comportement géochimique à long terme de rejets miniers à faible potentiel de génération d'acide à l'aide d'essais cinétiques. Mémoire de maîtrise en génie minéral, École Polytechnique de Montréal. WAYBRANT, K.R., BLOWES, D.W. et PTACEK, C.J. (1998). Selection of reactive mixtures for use in permeable reactive walls for treatment of acid mine drainage. Environmental science and Technology, 32 : 1972-1979.

Résumé :

En Algérie, il existe de nombreux sites miniers qui ont été abandonné. En effet, ces sites génèrent des quantités importantes de contaminants et pourraient avoir des impacts négatifs sur l'environnement : pollution des sols, de l'eau, destruction ou perturbation d'habitats naturels, impact visuel sur le paysage, effets sur le niveau des nappes phréatiques, l'eau de surface et les eaux superficielle. La mine de SIDI-KAMBER, située 60 km de SKIKDA, en est un exemple.

Les gisements de la mine se compose d'une série de filons à minéralisation sulfurée, leur composition minéralogique est en grande partie : Galène PbS, Blende ZnS, Baryte FeS₂, Pyrite.

L'un des facteurs les plus déterminants dans l'impact d'une mine abandonnées est le pouvoir générateur d'acidités des rejets entreposé. Notre étude a été consacrée à la prédiction du pouvoir polluants des rejets miniers de la mine abandonnée de SIDI-KAMBER, qui est resté à l'abandant depuis l'arrêt de son exploitation en 1979, cette mine continue d'être une source de pollution.

Des prélèvements dans les déchets et les haldes a stérile générés de l'exploitation et le traitement de minerai ont été effectués à proximité de la mine abandonnée de SIDI-KAMBER. Ainsi qu'un certain nombre de paramètres ont été analyser : la granulométrie, les paramètres physico-chimiques (pH, Potentiel d'oxydo-réduction, conductivité électrique), DRX, XRF, analyse spectrométrique des ETM, la minéralogie et le chimisme de rejet minière.

Les résultats obtenus ont montré que les rejets sont plus en moins fin, gravier et sable fin, qui contient beaucoup de métaux lourds (Pyrite, Chalcopyrite et Galène), et l'absences des éléments neutralisants, et les tests de prédiction concordant et qui part tous dans la même direction ce qui rend le rejet miner potentiellement dangereux.