



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Ben Ahmed – Oran 02

Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département Des Sciences de la Terre

N/d'ordre.....

**Mémoire pour l'obtention du Diplôme de Master 02**

**Option : Ressource Minérales, Géo-matériaux et Environnement (RMGE)**

**Thème :**

**IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES BOUES RESULTANTES DU  
TRAITEMENT DU MINERAI BARYTE AU SEIN DE L'UNITE  
ENOF DE BOUCAID  
(WILYA DE TISSEMSILT)**

Présenté-par : KHALDI Mohammed Aymen  
MOUSSAOUI Abdelhadi Reda

Devant le jury composé de :

- **Président :** CHADOULI Nadia Khaira - Université Oran 02
- **Encadreur :** BAAOUAGUE Abdelbaki - Université Oran 02
- **Examineur :** HASSANI Moulay Idriss - Université Oran 02

*Année universitaire : 2024/2025*

## DEDICACES

Je remercie le Dieu de m'avoir donné la volonté pour terminer mes études de graduation.

Ce modeste travail est dédié à mes parents ; mon **père** ma cher **mère** et ma **sœur**. Je ne peux exprimer mon respect, mon amour éternel et ma reconnaissance pour les sacrifices que vous avez faits pour moi et pour mon bien-être.

Je remercie tous ma famille pour tout le soutien et l'amour qu'ils m'a toujours donné.

À mes chers amis et camarades qui m'ont accompagné durant mes années d'étude : **REDA.M, YUCEF.Z, MEHDI.B MARWENE.Y** et **BOUJELLAL.G**. Je lui remercie pour les bons moments passés ensemble. Je ne vous oublierai jamais les moments agréables qu'on a passés ensemble.

Et Je dédie ce travail à Madame **CHADOULI. N**, témoignage de mon profond respect et de ma gratitude pour son soutien, ses conseils précieux, et sa disponibilité tout au long de mon parcours.

**Khaldi Mohammed Aymen**

## DEDICACES

Je remercie le Dieu de m'avoir donné la volonté pour terminer mes études de graduation.

Je dédie ce travail, à moi-même. Je dédie également ce modeste travail à **mes parents, mon frère et à mes sœurs**, en signe de gratitude infinie pour votre amour inconditionnel, votre soutien constant et les sacrifices silencieux que vous avez consentis pour mon bien-être et mon éducation.

Votre présence et vos encouragements ont été ma plus grande force.

Enfin, j'adresse cette dédicace à mes amis et camarades de route, pour les moments de partage, les discussions enrichissantes et les instants de joie qui ont marqué ces années d'études.

**Moussaoui Abdelhadi Reda**

## **Avant-propos**

Avant tout nous remercions Dieu qui nous a donné la volonté de terminer ce travail.

Nos remerciements vont, tout d'abord, à Monsieur BAAOUAGUE A. de m'avoir proposé le thème de ce Mémoire et m'initier et m'intéresser sur un Sujet sur l'environnement. Il m'a encadré et encouragé pendant cette durée de sa réalisation en orientant ce travail jusqu'à sa réalisation.

Je remercie Mme.CHADOULI N. pour avoir accepté de présider le jury, ainsi j'en suis très Redevable envers ses efforts pédagogiques durant toute ma formation de Master et surtout pour tous et les orientations de ce travail.

Nos très vifs remerciements vont également à notre enseignant en cursus master Mr. HASSANI M.I. qui nous a initié et sensibilisé aux enjeux environnementaux d'exploitation minière dans un cadre de développement durable et qui a accepté de juger ce travail.

Nos remerciements vont également à nos enseignants du Département de géologie qui tout au long de notre cursus universitaire, m'ont encadré formé. Je cite: Mr. MAHMOUDI, Mr. TABELIOUNA, Mr. BENRAMDANE, Mme LAGRAA, Mme ALLAMI, Mr. BOUZID, Mr. ATIF.

Nous exprime une pensée respectueuse envers tout le personnel de l'Unité ENOF de l'exploitation de Barytine de Boucaid, Je remercie infiniment Mr. BENEDINE M. le Directeur de l'unité de l'ENOF qui nous a accueilli chaleureusement et qui a mis tous les moyens pour qu'on a puissent passer un séjour très fructueux au sein de son organisme, pour la réalisation de projet de fin d'étude.

Nos remerciements également à tous les responsables de la bibliothèque, de la salle informatique et de l'administration ainsi à nos camarades et amis du Département des Sciences de la Terre.

## RESUMÉ

Ce mémoire porte sur l'étude des boues de décantation issues de l'unité industrielle de traitement de la baryte de la mine de Boucaid, située dans le massif montagneux de l'Ouarsenis. Cette région, caractérisée par un relief escarpé et une géologie riche en formations calcaires jurassiques, abrite un gisement exploité pour la production de baryte conforme aux normes API.

Le processus industriel, réparti entre concassage, enrichissement et pulvérisation, génère d'importants volumes de déchets solides et liquides, notamment des boues de décantation stockées dans des bassins à proximité du site. Ces résidus, solides ou semi-solides, sont principalement stockés dans des bassins de décantation sans traitement spécifique préalable.

L'étude menée vise à caractériser ces boues sur les plans physico-chimique et environnemental, en s'appuyant sur des analyses réalisées au laboratoire de l'ONEDD, et à évaluer leur impact potentiel sur les sols, les eaux souterraines, ainsi que sur la biodiversité de la région montagneuse du massif de l'Ouarsenis.

**Les mots clé :** Ouarsenis – Boucaid - Barytine – tectonique – filon –para genèse – minéralisation- boue décantation, - bassin décantation - bassin de recyclage-API-ONEDD-ISO.

## ملخص

يتناول هذا البحث دراسة الأوحال الناتجة عن الوحدة الصناعية لمعالجة الباريت في بوقايد، الواقعة في الكتلة الجبلية للأوراسنيس. وتتميز هذه المنطقة بتضاريسها الوعرة وجيولوجيتها الغنية بالتكوينات الكلسية العائدة للعصر الجوراسي، كما تحتوي على مكنن معدني يتم استغلاله لإنتاج الباريت وفقاً للمعايير الدولية.

ينقسم المسار الصناعي إلى مراحل التكسير، الإثراء، والطحن، مما ينتج عنه كميات كبيرة من النفايات الصلبة والسائلة، وخصوصاً الأوحال التي تُخزن في أحواض ترسيب بالقرب من الموقع. وتُخزن هذه المخلفات، سواء كانت صلبة أو شبه صلبة، بشكل رئيسي في أحواض ترسيب دون أي معالجة أولية خاصة.

وتهدف الدراسة إلى توصيف هذه الأوحال من الجوانب الفيزيائية والكيميائية والبيئية، استناداً إلى تحاليل ، كما تسعى إلى تقييم أثرها المحتمل على التربة، (ONEDD) أجريت في مخبر الوكالة الوطنية للنفايات ، والمياه الجوفية، وكذلك على التنوع البيولوجي في المنطقة الجبلية من كتلة الونشريس.

كلمات مفتاحية

حوض إعادة –حوض الترسيب –طين الترسب –تمعدن –باراجينيس –عرق معدني –تكتونيك –باريتين –أورسنيسبوقايد  
API –التدوير

•ONEDD –الوكالة الوطنية لتتمين النفايات والموارد

•ISO –المنظمة الدولية للتوحيد القياسي

## **Abstract**

This thesis focuses on the study of settling sludge generated by the industrial barite processing unit in Boucaid, located within the mountainous Ouarsenis massif.

This region, characterized by rugged terrain and a geology rich in Jurassic limestone formations, hosts a deposit exploited for the production of barite that meets API standards.

The industrial process, which includes crushing, beneficiation, and pulverization, generates significant amounts of solid and liquid waste, particularly settling sludge stored in ponds near the site. These solid or semi-solid residues are primarily stored in settling ponds without any specific prior treatment.

This study aims to characterize these sludges from physico-chemical and environmental perspectives, based on analyses conducted at the ONEDD laboratory, and to assess their potential impact on soils, groundwater, and the biodiversity of the mountainous Ouarsenis massif.

**Keywords:** Ouarsenis – Boucaid – Barite – Tectonics – Vein – Paragenesis – Mineralization – Settling sludge – Settling pond – Recycling pond- API- ONEDD-ISO.

# **INTRODUCTION GENERALE**

## **I. CONTEXTE DU SUJET :**

### **a. Présentation générale de la région et du site d'exploitation de Boucaïd :**

Le champ de l'Ouarsenis est localisé au plus haut du massif et appartient au domaine montagneux de l'Atlas tellien. Il s'agit d'un relief fortement escarpé où des dénivelés de 500 m à 900 m ont permis d'observer de nombreux affleurements. On y observe un relief assez anguleux où des roches du Jurassique, le plus souvent du calcaire, ressortent sous la forme de crêtes peu larges et de sommets rocheux. Ces massifs sont peu boisés et on ne trouve quasiment de la végétation que sur les pieds de versant des montagnes (ALILAT. A et MEDJAOURI. M, 2018).

La chaîne de l'Ouarsenis se divise en deux parties dont l'Ouarsenis occidental et l'Ouarsenis oriental, séparés par le massif du « Grand Pic », qui s'élève à 1985 mètres d'altitude. Ce sommet, également appelé « Œil du monde » ou « Nombri du monde », constitue un repère naturel majeur (ENOF).

Les limites naturelles de l'Ouarsenis sont les suivantes :

- Au nord, la vallée ou la plaine du Chélif,
- Au sud, le plateau de Sersou (Tiaret),
- À l'ouest, les monts de Béni Chougrane et les monts de la Mina,
- À l'est, les monts Médéa

L'usine de Boucaïd, dans son ensemble, se charge du traitement, de l'enrichissement et de la transformation de la baryte brute provenant de divers sites d'extraction. Son rôle est de produire un produit commercial qui respecte les normes API. (SEKLAOUI. M, 2013).

### **b -Introduction à la problématique des déchets de traitement et leur gestion dans l'industrie**

L'extraction et le traitement des minerais de barytine dans la région de Boucaïd produisent une quantité importante de déchets, entraînant une pollution environnementale notable et affectant

significativement les différentes composantes de l'écosystème. Dont on a deux types de rejets : rejets liquides et rejets solides. Les rejets solides comprennent également les boues provenant des bassins de décantation utilisés pour le traitement des poussières, celles-ci étant déposées dans les mêmes zones de stockage que les autres déchets.

### **1. Les rejets liquides :**

Les eaux de traitement jouent un rôle crucial lors des étapes d'enrichissement du minerai de baryte. Cependant, il faut savoir que d'importants volumes d'eau sont nécessaires pour séparer le minerai de la gangue. Comme cette eau est recyclée pour être réutilisée, on ne juge pas nécessaire de l'analyser ou de la traiter. Néanmoins, il est importante de souligner qu'après utilisation, cette eau se retrouve chargée en sulfates issus de la composition du minerai et prend une teinte rougeâtre à cause de l'oxydation du fer présent dans la gangue.

### **2. Les rejets solides :**

Les rejets solides issus du traitement de la baryte à Boucaid se composent principalement de résidus déposés et stockés dans les zones adjacentes à l'activité. Les stériles, quant à eux, se présentent sous forme d'amas de roches, de cailloux et de fines particules aux dimensions et compositions variées. Exposés aux conditions climatiques, ces dépôts deviennent des sites privilégiés de transformations et d'interactions physico-chimiques. Un dépôt solide est constamment soumis aux agressions des conditions climatiques. Les substances qu'il libère peuvent soit être entraînées vers les cours d'eau par ruissellement, soit s'infiltrer en profondeur, entraînant ainsi une contamination des eaux. Le degré de pollution dépend directement de la composition chimique des rejets.

## **II. OBJECTIFS DE L'ETUDE**

Notre étude, se base sur les analyses des déchets de traitement et leur gestion dans l'industrie qui est porté sur des boues de décantation et des eaux utilisés dans les étapes de production. Ces analyses ont été faite au laboratoire de l'ONEDD suivies d'une réalisation d'un mémoire ou on à évaluer l'impact de ces boues au niveau environnemental.

## **III. JUSTIFICATION DE L'ETUDE**

D'après Emmanuel Adler (2002), la gestion efficace des eaux et des boues de décantation revêt une importance cruciale pour la préservation de l'environnement. Issues des processus industriels de traitement des eaux et des minerais, ces boues contiennent divers contaminants susceptibles d'engendrer des impacts négatifs sur les écosystèmes et la santé humaine.

**a. Prévention de la pollution des sols et des eaux :**

Les boues de décantation peuvent contenir des métaux lourds, des hydrocarbures ou d'autres polluants qui, en l'absence d'un traitement adéquat, s'infiltreront dans le sol et atteignent les nappes phréatiques. Une gestion rigoureuse permet de limiter cette contamination et de préserver la qualité des ressources en eau.

**b. Réduction des impacts sur la biodiversité :**

Le rejet incontrôlé de boues dans l'environnement peut altérer les habitats naturels et nuire à la faune et à la flore locale. La mise en place de systèmes de traitement et de valorisation contribue à réduire ces effets néfastes et à protéger les écosystèmes environnants.

**c. Valorisation et réutilisation des boues :**

Certaines boues de décantation peuvent être réutilisées après traitement, notamment dans l'industrie du bâtiment (fabrication de briques, ciment), l'agriculture (après stabilisation et dépollution) ou encore dans la production d'énergie. Cette approche favorise l'économie circulaire et réduit l'impact environnemental des déchets industriels.

**d. Conformité aux réglementations environnementales :**

De nombreux pays imposent des normes strictes en matière de gestion des déchets industriels et des boues de décantation. Une bonne gestion permet non seulement de protéger l'environnement, mais aussi d'éviter des sanctions légales et financières pour les industries concernées.

## **IV. STRUCTURE DU MEMOIRE**

Ce mémoire s'articule autour de plusieurs chapitres visant à analyser les déchets issus du traitement du minerai de barytine à Boucaïd et leur impact environnemental.

- Le premier chapitre présente les généralités sur la région, notamment sa situation géographique, sa topographie, ainsi que ses caractéristiques hydrographiques et climatiques, aborde aussi la géologie et la géologie du gisement de Boucaïd, en détaillant les minéraux et les différents types de gisements de barytine présents.
  - Le deuxième chapitre se concentre sur le traitement du minerai et les techniques utilisées, avec un accent particulier sur la formation, la composition et les caractéristiques des eaux et boues de décantation. Il décrit également les méthodes d'analyse chimique, et les études de cas existantes.
  - Le troisième chapitre expose la méthodologie adoptée pour les analyses menées, en décrivant l'usine de Boucaïd, les techniques de collecte et de stockage des échantillons, ainsi que les outils analytiques utilisés pour évaluer la composition chimique des déchets.
  - Le quatrième chapitre présente les résultats des analyses, leur interprétation et leur comparaison avec les normes en vigueur, tout en proposant des stratégies de gestion et de traitement durable des déchets, ainsi que des mesures correctives pour minimiser leur impact.
- Enfin, la conclusion résume les principales observations issues des analyses chimiques et environnementales, en mettant en évidence les implications de ces résultats et les recommandations pour une meilleure gestion des déchets industriels.

# Chapitre I

## Généralités

### sur la région

## I. SITUATION GEOGRAPHIQUE

La wilaya de Tissemsilt est située à 220 km au sud-ouest d'Alger, et à environ 250 km au sud-est d'Oran. Notre étude concerne le gisement Lakhdar, situé sur le versant sud du Djebel Sraa Abdelkader. Il se trouve à 8 km au sud-est du village de Boucaïd, dans la partie occidentale du massif de Sra Abdelkader (Fig.02).

L'accès au site se fait depuis Boucaïd par la route communale d'Aïn Antar sur 3 km, suivie d'une piste de 1 km, soit un total de 5 km (ENOF).

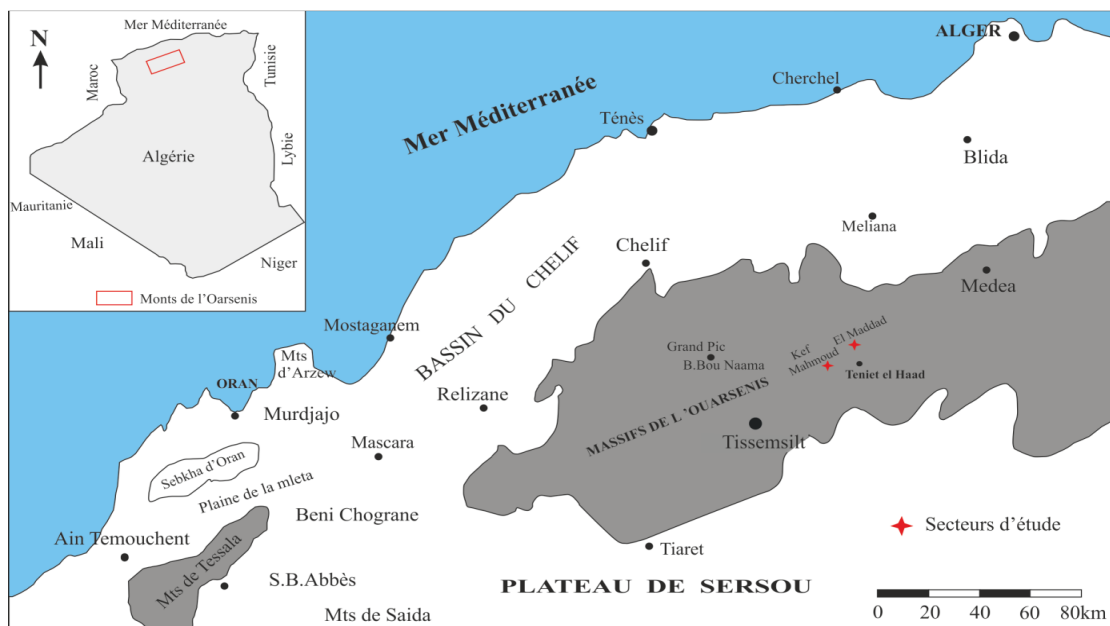


Figure 1: Situation géographiques de l'Ouarsenis (Benhamou, 1996 modifié).

Le champ minier de l'Ouarsenis représente la partie la plus élevée du massif, il appartient au système montagneux de l'atlas tellien (ALILAT. A et MEDJAOURI. M, 2018).

S'étendant sur une superficie de 22 hectares, le gisement est délimité par :

- Le village de Boucaïd à l'ouest.
- Le massif de Sidi Abdelkader à l'est.
- Le douar Béni Bou djemaa au nord.
- Le massif du Grand Pic (Kef Sidi Amar) au sud



Figure 2: Situation géographique de la région de Boucaïd par rapport à l'Ouarsenis (image SAT Google Earth).

## II. TOPOGRAPHIE DE LA REGION :

Le relief de la région est fortement accidenté, avec des dénivelés variant entre 500 et 900 mètres, favorisant ainsi d'excellentes conditions d'affleurement. Les formes positives de la topographie sont dominées par des épointements rocheux jurassiques, principalement constitués de calcaire. Ces affleurements se présentent sous forme de crêtes étroites et de sommets rocheux (Fig.04).

Les massifs, peu boisés, laissent place à une végétation qui se développe essentiellement au pied des montagnes.



# Chapitre II

## **GEOLOGIE ET GITOLOGIE de SITE**

## **I. GEOLOGIE ET GITOLOGIE DU GISEMENT DE BOUCAÏD :**

L'Ouarsenis est composé de formations rocheuses sédimentaires jurassiques qui affleurent sous forme de massifs isolés au sein des terrains crétacés. Parmi ces reliefs, on distingue notamment le Grand Pic, Sra Sidi Abdelkader, Sidi Belkheiret, Rokba et Batha, ainsi que plusieurs blocs résultant de glissements gravitaires (Fig.05).

La tectonique des gisements formant la mine de Boucaïd est directement liée aux structures affectant le massif de l'Ouarsenis, entraînant le déplacement des nappes. Ceci fut l'origine de nombreux accidents tectoniques qui ont affecté les masses calcaires favorable à la cassure, et par conséquent un aspect plus complexe et écaillé, caractérisant chaque grande masse calcaire résultante (MEKDOUR, 2017).

Le massif du Grand Pic est coupé par quelques grandes failles sub-méridionales et par une grande quantité de cassures sub-longitudinales. L'action tectonique de même direction sur le massif d'Abdelkader traduite par le renversement partiel vers le Sud-Est de ces flancs occidentaux. Après la stabilisation tectonique, sur le versant Sud du Grand Pic, se manifestent largement les phénomènes de déplacement et de glissement par gravité des blocs (MATTAURE, 1958).

Ce contexte tectonique a donné naissance à un anticlinorium plongeant vers le nord-est, constituant l'ossature principale du massif montagneux. Parallèlement, un flanc inverse avec un anticlinal couché au sud remplit l'aire synclinale. Ces déformations ont provoqué de nombreux accidents tectoniques impactant les différentes masses calcaires de la région.

La gîtologie des gisements de l'Ouarsenis, Boucaïd inclus, est formée par des filons, lentilles et amas, le résultat des accidents tectoniques ayant eu lieu dans cette zone. La région comporte deux types de gisement selon leur formation : les amas et les filons (NEDJEMEDDINE. K, 2016).

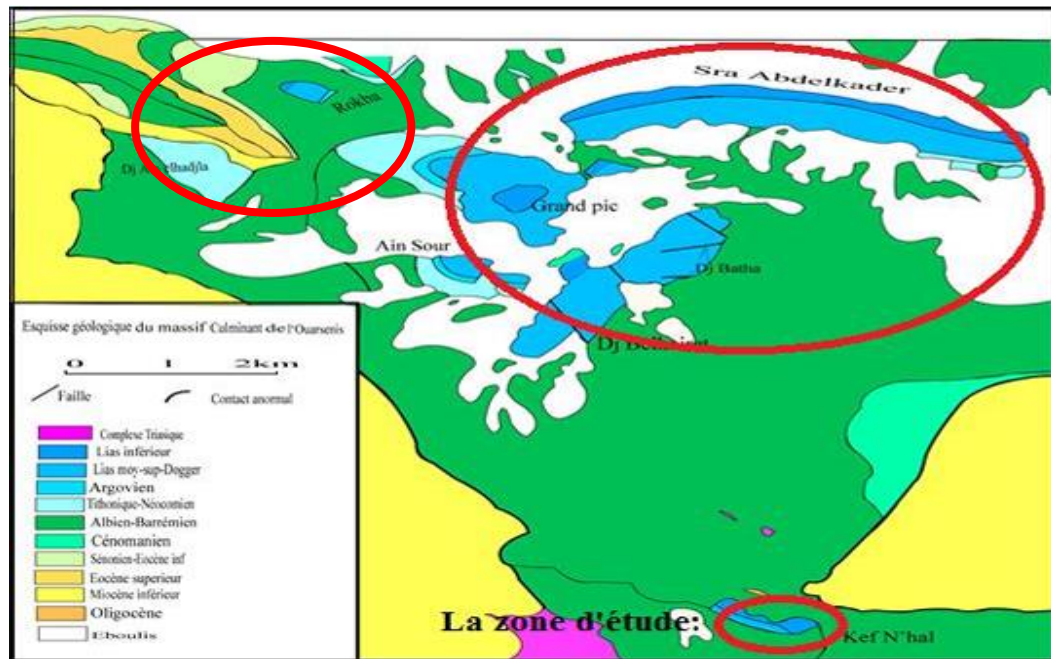


Figure 4 : Esquisse Géologique du l'Ouarsenis (ALILAT. A et MEDJAOURI. M, 2018)

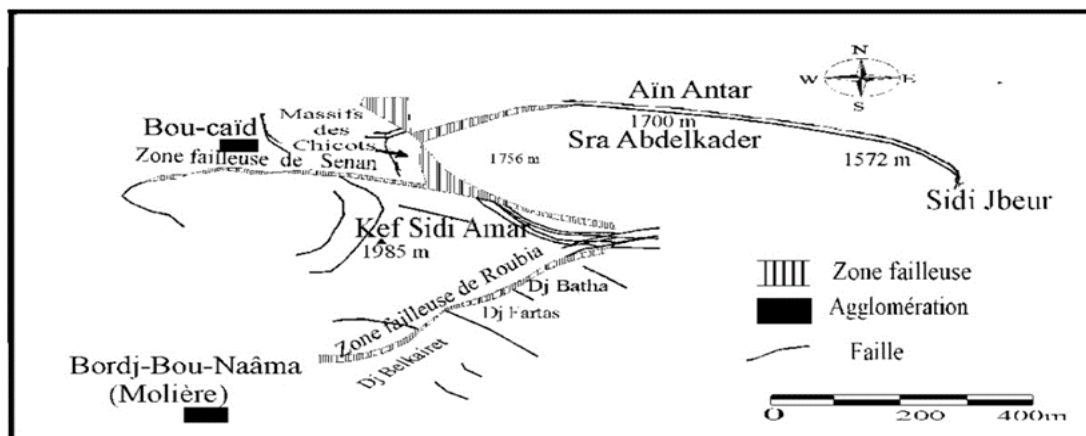


Figure 5 : Traits structuraux du secteur d'étude. (D'après Calembert, 1952 ; Benhamou, 1996, modifiée)

## II. GISEMENT DE LA REGION DE BOUCAID : MINERAUX DE ET TYPES DES GISEMENTS :

La barytine, un minéral principalement composé de sulfate de baryum ( $\text{BaSO}_4$ ), est largement exploitée pour ses diverses applications industrielles, notamment dans les secteurs pétrolier, chimique et pharmaceutique. Le gisement de Boucaïd, situé dans le massif de l'Ouarsenis, représente l'une des ressources barytiques les plus notables de la région (Fig.06). Boucaïd présente trois gisements principales dont :

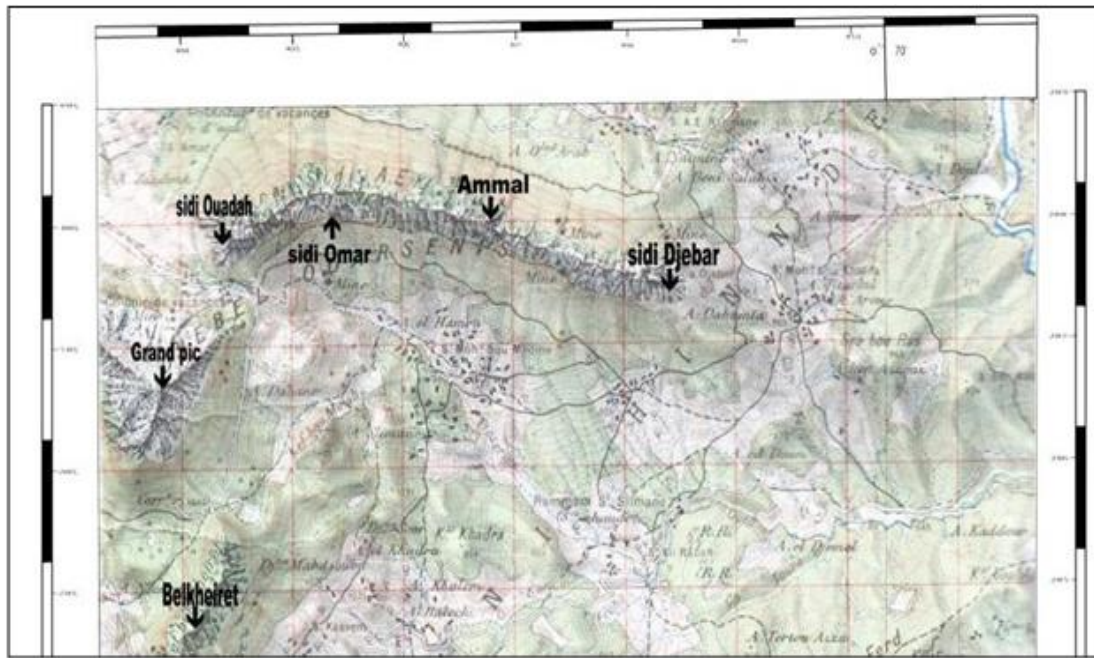


Figure 6 : Plan de situation des sites formants le gisement de barytine

(Extrait de la carte topographique de la région, échelle : 1/50 000).

#### a- Gisement Sidi Belabbes :

Le filon Sidi Belabbes se divise en deux parties distinctes, situées à l'ouest et à l'est du Sra Abd El-Kader. La partie ouest se manifeste sous forme d'un corps filonien affleurant sur 315 mètres de longueur, avec une orientation est-ouest et une épaisseur variant entre 0,5 et 2 mètres. Son pendage est sub-vertical ( $86^\circ$ ), et il est encaissé dans les calcaires du Lias moyen-supérieur. La barytine extraite de cette zone présente une teneur moyenne de 84,55 % en  $\text{BaSO}_4$ , avec une densité avoisinant (4). Quant à la partie est, elle constitue la continuité de ce filon et a été identifiée lors des reconnaissances géologiques menées entre 1977 et 1982 par la division de recherche (EX : SONAREM). Elle affleure entre 1210 et 1290 mètres d'altitude sur une longueur de 130 mètres, avec un pendage de  $76^\circ$  vers le sud, une épaisseur moyenne de 1,6 mètre, et une teneur en  $\text{BaSO}_4$  de 86,32 %. Ce segment est contrôlé par une structure tectonique de direction est-ouest, encaissée dans les calcaires du Dogger (BOURBALA. B & MOUSSAOUI. E, 2013).

## b- Gisement Lakhdar :

Le gisement de Lakhdar se compose de plusieurs corps minéralisés, présentant une structure irrégulière et encaissés dans les calcaires du Lias moyen-supérieur. Le corps Lakhdar Supérieur se manifeste sous forme d'amas, avec une base de 350 m<sup>2</sup> à une altitude de 1475 m et une section atteignant 654 m<sup>2</sup> au niveau 1485 m (fig.06). Avant son exploitation, il présentait une forme conique avec un axe décentré. Le minerai, caractérisé par une densité de 4,2, est contenu dans une gangue argileuse plus ou moins importante et affiche une teneur moyenne en BaSO<sub>4</sub> de 76,08 %. En contrebas, le corps Lakhdar Inférieur constitue la continuité de cette minéralisation entre 1330 m et 1550m (fig.08). Il présente également une structure irrégulière et une densité légèrement plus élevée (4,32), avec une teneur en BaSO<sub>4</sub> de 78,86 %. Ce corps a été exploré par galerie au jour et sondages en profondeur, révélant des réserves estimées à 148 000 tonnes en C1. Enfin, au niveau 1497 m, le prolongement du filon Sidi Ouadah (niveau 1518 m) constitue la limite supérieure de cette section, tandis que la limite inférieure s'arrête 50 m plus bas. Ce filon, d'une puissance moyenne de 1,30 m, présente un pendage variant entre 25° et 35° vers le sud, une teneur moyenne de 85,79 % en BaSO<sub>4</sub>, et reste encaissé dans les calcaires du Lias moyen-supérieur (BOURBALA. B & MOUSSAOUI. E, 2013).

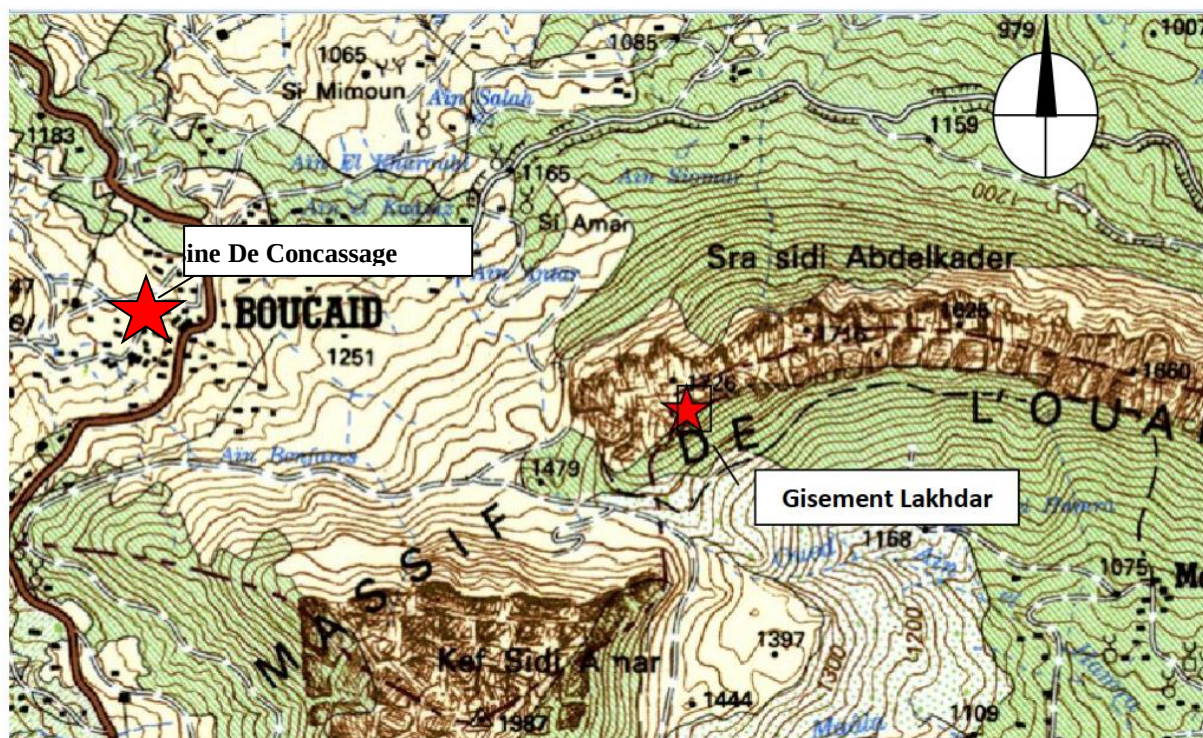


Figure 7 : Le gisement Lakhdar + périmètres (carte topographique De Bordj Bou Naama 1/25000)



Figure 8 : Vue panoramique du gisement Lakhdar Niveau 1452 m (Emplacement d'exécution de sondage)



Figure 9: photo de l'entrée de gisement Lakhdar (niveaux 1550 m)

### c- Gisement Nord

La structure filonienne s'est formée le long d'un accident cassant de direction sub-latitudinale (112-192°), avec un pendage compris entre 70 et 75° vers le N-NE. La minéralisation est visible en surface sur environ 300 mètres et est encaissée dans les dolomies du Lias inférieur, à proximité du contact avec les schistes argileux de l'Albo-Aptien. L'épaisseur du filon varie entre 0,4 et 10 mètres, avec une moyenne de 1,5 à 1,6 mètre, et une teneur en BaSO<sub>4</sub> d'environ 70 %. Le filon Nord-est exploité sur trois niveaux : 1200 m, 1150 m et 1115 m (BOURBALA. B & MOUSSAOUI. E, 2013).

Les niveaux 1200 m et 1150 m, exploités au cours des années précédentes, ont subi des affaissements et des fissurations naturelles en 2009, affectant les entrées des galeries et les pistes d'accès, ce qui a perturbé l'exploitation jusqu'au début de 2010. Toutefois, les travaux ont repris au deuxième semestre de 2010, permettant la poursuite de l'extraction du minerai (ALILAT. A et MEDJAOURI. M, 2018).

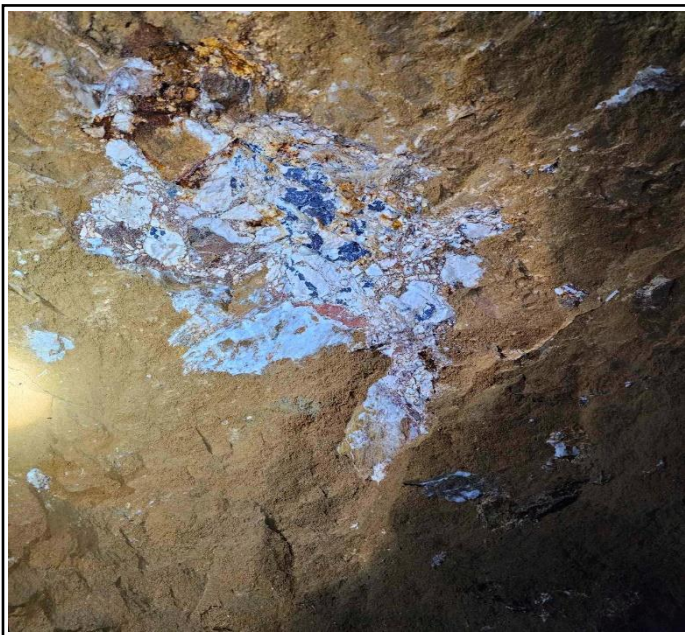


Figure 11 : filon de barytine



Figure 10 : Barytine chargée de pb

# Chapitre III

## Traitement du minerais au sein de L'Unité de Boucaid

## I. PRESENTATION GENERALE DE L'ETABLISSEMENT ET DE SON ENVIRONNEMENT

L'unité de concassage de l'entreprise **ENOF-SPA** (Entreprise Nationale des Produits Miniers Non Ferreux et des Substances Utiles), située dans la commune de Boucaid, wilaya de **Tissemsilt**, constitue une composante stratégique dans la chaîne d'approvisionnement en matières premières destinées au secteur des hydrocarbures.



Figure 12: ENOF SPA UNITE DE BOUCAID

Cette

unité est spécialisée dans l'exploitation et le traitement de la baryte, un minéral lourd reconnu pour ses caractéristiques physico-chimiques, notamment :

- **Une densité élevée**, supérieure à  $4,20 \text{ t/m}^3$ , ce qui en fait un additif idéal pour alourdir les boues de forage utilisées dans les forages pétroliers et gaziers ;
- **Une insolubilité dans l'eau**, garantissant la stabilité et l'efficacité du fluide de forage dans les environnements souterrains.

Au cours des dernières années, la demande en baryte a connu une hausse significative, stimulée par l'expansion des activités de prospection et de recherche pétrolières. Dans ce contexte, l'unité de Boucaid joue un rôle clé en assurant un approvisionnement régulier en baryte de qualité, répondant aux normes du secteur énergétique.

Implantée dans un environnement à fort potentiel minier, l'unité bénéficie également d'un positionnement géographique favorable, facilitant l'acheminement du produit vers les

principaux clients nationaux, notamment les sociétés d'exploration et de forage opérant dans le domaine des hydrocarbures.

#### a. Localisation de l'entreprise :

L'unité de concassage de Boucaid, (ENOF-SPA), est implantée au sein de la commune de Boucaid, daïra de Lazharia, dans la wilaya de Tissemsilt.

Occupant une superficie de 4,4 hectares, cette unité est stratégiquement positionnée et bénéficie d'un environnement géographique mixte, à la fois urbain et naturel. Son implantation est délimitée comme suit :

- **Au Nord** : la Route Nationale n°19 en direction de Chlef, l'Assemblée Populaire Communale (APC) de Boucaid, ainsi que des habitations et locaux commerciaux ;
- **Au Nord-Est** : une caserne de l'Armée Nationale Populaire (ANP) ;
- **À l'Est** : la Route Nationale n°19, un bureau de poste et plusieurs habitations ;
- **À l'Ouest** : un relief naturel, formant une limite topographique ;
- **Au Sud** : un espace vert, une mosquée, des habitations et commerces, un marché hebdomadaire (vendredi), ainsi qu'une école primaire.

Ce positionnement confère à l'unité une accessibilité importante via les axes routiers principaux tout en soulevant des considérations environnementales et sociales liées à sa proximité avec des zones résidentielles, éducatives et commerciales.



Figure 13: Photo satellitaire de l'unité d'ENOF-SPA de Boucaid (Tissemsilt)

## **b. Historique :**

L'unité de Boucaid de l'entreprise ENOF-SPA possède une riche histoire minière qui remonte à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, marquée par la mise en exploitation des minerais polymétalliques, notamment le plomb et le zinc, à la suite d'études géologiques menées par un géologue français. Cette activité a atteint son apogée dans les années 1940. À la suite de la nationalisation des mines en 1966, la Société Nationale de Recherches et d'Exploitation Minière (SONAREM) a entrepris dès 1967 des travaux de prospection, incluant des études géologiques approfondies et la reconnaissance systématique du gisement minier.

En 1975, des levés géologiques à l'échelle 1/5000 réalisés sur le site de Sidi Bel Abbés ont conduit à la découverte d'une importante structure barytique s'étendant sur environ 850 mètres. Cette structure a été l'objet de travaux de prospection et d'évaluation entre 1977 et 1981. Parallèlement, l'exploitation et le traitement de la baryte ont officiellement débuté dès 1976.

La mine de Boucaid comprend plusieurs petits gisements exploités en souterrain dans les zones avoisinantes, notamment : Lakhdar, Nord, Sidi Bel Abbés, Colonne 2, Belkheiret, Ammal, Sidi Djar, et Sidi Ouadah.

Le traitement de la baryte est assuré au niveau de l'usine de Boucaid, située au chef-lieu de la commune, qui fait aujourd'hui l'objet de l'audit d'évaluation. Et actuellement, seuls deux gisements, Lakhdar et Nord, restent en activité et sont exploités par l'unité.



*Figure 14: échantillons de baryte*

En 1983, à la suite de la restructuration de la SONAREM, la mine de Boucaid a été intégrée à l'Entreprise Nationale des Produits Miniers Non Ferreux et des Substances Utiles (ENOF-SPA), qui en assure la gestion depuis lors.

Enfin, en 2017, l'unité a envisagé une extension de ses activités vers la commune de Bordj Bounaâma, traduisant la volonté de renforcer les capacités de production et d'exploitation de la baryte dans la région.

### **c. Processus industriel et capacité de production :**

L'usine de concassage de Boucaid, appartenant à ENOF-SPA, est spécialisée dans le traitement et la valorisation du tout-venant de baryte ( $\text{BaSO}_4$ ) en un produit fini conforme aux normes API (American Petroleum Institute), destiné à être utilisé dans les boues de forage pétrolier. Le minerai brut, issu des différents quartiers d'exploitation, présente une grosseur maximale de 500 mm et une teneur minimale de 60 % en  $\text{BaSO}_4$ . Son traitement industriel se déroule en trois grandes étapes : concassage, enrichissement, puis broyage et conditionnement.

#### **1. Station de concassage : Préparation du tout-venant**

Cette étape a pour objectif de réduire la granulométrie du tout-venant pour le rendre apte à l'enrichissement. Les opérations se déroulent comme suit :

- Le tout-venant est chargé par pelle mécanique dans une trémie réceptrice d'une capacité de 120 tonnes, depuis une aire de stockage de 5 000 tonnes.
- Il passe ensuite par trois étapes de réduction mécanique :
  - Concasseur à mâchoires simple effet type *VB67 BERGEAUD* : réduction jusqu'à 70 mm.
  - Broyeur-crible mobile SYMENS : réduction à 14 mm et criblage sur un crible à trois étages (séparation des fractions 10–14 mm).
  - Concasseur à cylindres lisses type BCR 60×80 : réduction finale jusqu'à 6 mm.

À l'issue du concassage, le produit présente une granulométrie comprise entre 0 et 10 mm, stocké dans trois trémies tampons de 120 tonnes chacune.



*Figure 15 : Criblage et concassage secondaire*

## **2. Station d'enrichissement : Séparation gravimétrique humide :**

Le tout-venant concassé est traité dans un appareil de séparation gravimétrique humide de type Remer-Jig WEMCO, selon les principes de différence de densité entre baryte et gangue.

- Le concentré (baryte lourde) est récupéré au fond de l'appareil, acheminé vers un classificateur spiral, puis envoyé pour égouttage.
- Le concentré est ensuite stocké dans une aire de stockage dédiée de 9 000 tonnes.
- Les rejets (produits légers) sont évacués avec l'eau vers une digue de décantation, et les eaux sont recyclées dans le circuit.



*Figure 16: Station d'enrichissement*



Figure 17 : produit semi fini

### 3. Station de broyage et conditionnement :

-**Finition du produit** : Cette phase transforme le concentré en produit fini selon les spécifications techniques du marché pétrolier.

- **Séchage** : le concentré (humidité  $\leq 12$  %) passe dans un sécheur rotatif (14 m de long, 2 m de diamètre), ramenant l'humidité à moins de 1 %.
- **Broyage** : le produit sec est broyé finement dans un broyeur pendulaire P16, avec un rendement de 14 t/h.
- **Classification granulométrique** : un séparateur statique isole les particules  $\leq 75$   $\mu\text{m}$ , transférées dans une trémie de stockage dédiée.



Figure 18: station de Séchage - broyage – dépoussiérage

➤ **Conditionnement :**

- Le produit fini est conditionné en Big-Bags de 1,5 tonne à l'aide de trois ensacheuses TESTUT, puis pesé sur une balance électronique.
- Le produit est prêt pour l'utilisation en boues de forage.

-Capacité de stockage du produit fini : 400 tonnes.

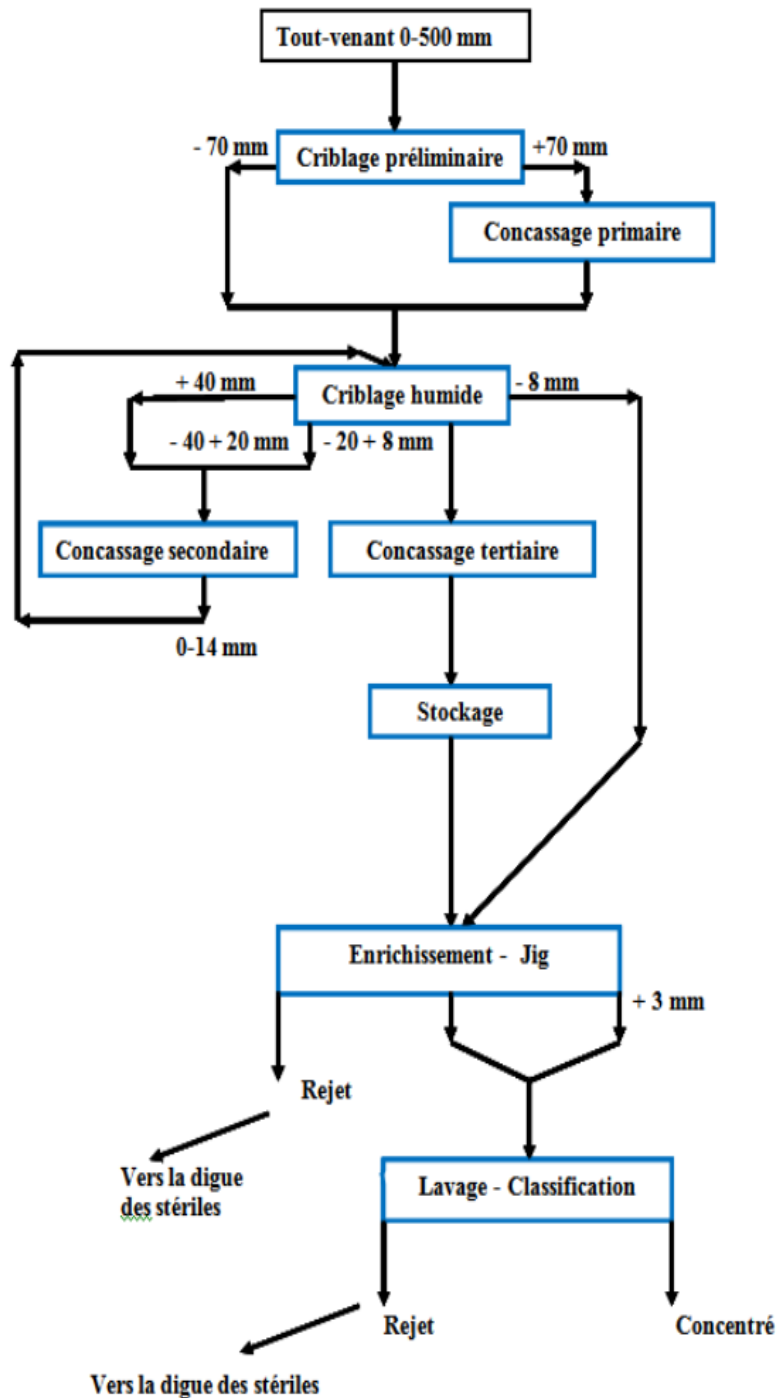


Figure 19: Procédé de traitement de la baryte de Boucaid (Audit d'Evaluation ENOF- février 2018).

## **A. Les Boues de décantation :**

### **1-Définition et origine :**

Les boues de décantation sont des résidus solides ou semi-solides provenant de la décantation des particules solides contenues dans les eaux industrielles, notamment issues des systèmes de dépoussiérage ou de traitement des minerais. Ces boues proviennent du traitement du tout-venant et se forment dans les bassins de décantation, qui reçoivent les eaux chargées de poussières et de particules générées par les opérations industrielles (concassage, enrichissement, lavage, etc.).



*Figure 20 : échantillon de boue*

### **2-Composition:**

On peut raisonnablement supposer qu'elles contiennent :

- des particules fines de baryte ( $\text{BaSO}_4$ ),
- des sédiments minéraux (argiles, silicates, etc.),
- des traces éventuelles de métaux lourds selon les conditions du minerai et du procédé (Cr, Cu, Pb, Ni, Zn sont suivis dans les eaux usées selon les analyses mentionnées).

Des analyses ont été effectuées pour caractériser ces boues, et les résultats sont disponibles en annexe du document, bien qu'ils ne soient pas inclus dans l'extrait fourni. (Audit d'Evaluation ENOF- février 2018)

### **3-Type :**

On peut identifier deux grands types en fonction de leur origine :

- Boues issues du bassin de décantation des eaux industrielles (chargées de poussières),
- Boues issues du traitement gravimétrique dans la station d'enrichissement (rejets légers évacués vers la digue de décantation).

### **4-Caractéristiques générales :**

- **Nature** : Semi-solide à solide, minérale.
- **Stockage** : Ces boues sont stockées dans des bassins de décantation permanents.
- **Traitement** : Une convention de récupération est en cours de signature pour leur gestion, indiquant leur potentiel de valorisation ou d'élimination comme déchets.
- **Dangerosité** : des critères de dangerosité (toxique, polluant, etc.) sont étudiés dans le cadre du classement des déchets. Les boues peuvent présenter un risque pour l'environnement, notamment si elles ne sont pas traitées correctement.

## II. PROCESSUS DE FORMATION DES BOUES DANS LES USINES INDUSTRIELLES

Le processus de formation des boues dans les usines industrielles, tel que pratiqué par des unités comme celles de l'ENOF unité de boucaïd en Algérie, résulte principalement du traitement des eaux usées industrielles. Ces boues sont des résidus solides ou semi-solides issus des différentes étapes de purification des effluents, contenant des matières organiques, des particules en suspension, des métaux lourds et divers polluants spécifiques à l'activité industrielle concernée.

### a. Origine et formation des boues industrielles

Les boues industrielles se forment au cours des traitements des eaux usées, notamment lors des phases de séparation des matières solides et liquides. Elles peuvent être classées en deux grandes catégories :

- **Boues de procédé** : issues directement des processus de production industrielle, elles sont souvent concentrées et peuvent contenir des substances toxiques, rendant leur traitement plus complexe.
- **Boues d'épuration** : résultant des opérations de traitement des eaux usées, telles que la décantation, la filtration ou les traitements biologiques, elles contiennent principalement des matières organiques et des microorganismes.

### b. Processus de traitement des eaux usées et formation des boues :

Le traitement des eaux usées industrielles comprend généralement plusieurs étapes :

- **Traitement physico-chimique** : incluant des procédés tels que la coagulation-floculation, la décantation et la flottation, cette phase permet de regrouper et de séparer les particules en suspension, formant ainsi des boues primaires.

- **Traitement biologique** : utilisant des microorganismes pour dégrader les matières organiques dissoutes, ce processus, comme celui des boues activées, génère des boues secondaires composées principalement de biomasse microbienne.
- **Traitement tertiaire** : visant à éliminer les nutriments restants (azote, phosphore) et les micropolluants, cette étape peut produire des boues supplémentaires contenant des composés spécifiques.

#### c. **Caractéristiques des boues industrielles :**

Les boues industrielles présentent des caractéristiques variables selon l'origine

Des effluents :

- **Composition** : elles peuvent contenir des matières organiques, des métaux lourds, des hydrocarbures, des solvants, des agents de nettoyage, etc.
- **Propriétés physiques** : leur teneur en eau est généralement élevée, nécessitant des étapes de déshydratation pour faciliter leur gestion.
- **Toxicité** : certaines boues peuvent être dangereuses pour l'environnement et la santé humaine, en raison de la présence de substances toxiques ou pathogènes.

#### d. **Gestion et valorisation des boues :**

La gestion des boues industrielles implique plusieurs étapes :

- **Épaississement et déshydratation** : réduction de la teneur en eau des boues pour diminuer leur volume et faciliter leur manipulation.
- **Stabilisation** : processus visant à réduire la réactivité biologique des boues, par des méthodes telles que la digestion anaérobie ou le chaulage.
- **Valorisation** : les boues peuvent être utilisées comme source d'énergie (par incinération ou méthanisation), en agriculture (après traitement approprié), ou comme matière première dans certaines industries.
- **Élimination** : lorsque la valorisation n'est pas possible, les boues doivent être éliminées dans des conditions respectant les réglementations environnementales en vigueur.

#### e. **Cas spécifique de l'ENOF unité de boucaïd :**

L'Entreprise Nationale des Produits Miniers Non Ferreux (ENOF) unité de boucaïd en Algérie, spécialisée dans l'exploitation et le traitement de minerais non ferreux, génère des boues

industrielles spécifiques, notamment lors du lavage et de la concentration des minerais. Ces boues peuvent contenir des particules fines de minerais, des agents chimiques utilisés dans les procédés de flottation, ainsi que d'autres contaminants.

La gestion de ces boues nécessite des installations adaptées pour leur traitement, leur déshydratation et, si possible, leur valorisation, tout en respectant les normes environnementales nationales et internationales.

### **III. la gestion des poussières**

#### **a. Processus de fonctionnement du Système de dépoussiérage :**

Afin de limiter l'impact environnemental et d'assurer un environnement de travail sain, l'usine de Boucaid est dotée d'un système de dépoussiérage conçu pour capter, traiter et éliminer les particules de poussière générées au cours des différentes étapes du traitement de la baryte. Ce système fonctionne en plusieurs étapes successives :

##### **1. Tunnel de ralentissement des particules**

- Le flux d'air contenant des particules de poussière passe dans un tunnel muni de murs opposés, conçus pour réduire la vitesse des particules.
- Cette configuration favorise la sédimentation naturelle de la poussière lourde.
- Des portails d'évacuation manuels permettent de retirer les dépôts accumulés, qui sont ensuite dirigés vers la digue de décantation.

##### **2. Chambre de pulvérisation**

- L'air passe ensuite par une chambre de pulvérisation de dimensions 18 m × 2 m × 2 m, où les particules de poussière sont humidifiées à l'aide d'un système d'arrosage.
- Le mouillage permet d'alourdir les particules fines, facilitant leur captation et leur décantation.
- Les eaux de pulvérisation chargées en poussières sont récupérées à la sortie dans un bassin de décantation.

##### **3. Recyclage et évacuation**

- Les eaux décantées sont recyclées dans le circuit du processus industriel.
- Les particules fines résiduelles non captées ainsi que la vapeur générée sont évacuées par une cheminée principale, minimisant ainsi la concentration de poussières dans l'atmosphère.

## **b. Processus De fonctionnement du Système de recyclage des eaux :**

Le système de dépoussiérage de l'usine est complété par une infrastructure de traitement des eaux utilisées pour la capture des poussières, composée de deux bassins et d'un système de pompage. Ce dispositif permet une réutilisation continue de l'eau dans le processus, contribuant à la réduction des consommations hydriques et à la préservation de l'environnement.

### ➤ **Composantes du système :**

- **Bassin de décantation :** destiné à la séparation des particules solides contenues dans les eaux chargées issues du dépoussiérage.
- **Bassin de recyclage:** récupère les eaux décantées, désormais débarrassées des particules lourdes, en vue de leur réinjection dans le circuit.
- **Pompes:** assurent le transfert des eaux recyclées vers le système de dépoussiérage.

### ➤ **Circuit de traitement :**

1. Évacuation des eaux chargées de poussières vers le bassin de décantation, où les matières solides se déposent au fond.
2. Transfert des eaux décantées vers le bassin de recyclage.
3. Pompage des eaux du bassin de recyclage vers les installations de dépoussiérage pour un réemploi dans l'arrosage des poussières.



*Figure 21 : Bassins de décantation de la poussière*

Ce circuit fermé permet une gestion efficace des eaux industrielles, en limitant les rejets et en réduisant les besoins en eau neuve, tout en maintenant l'efficacité du système de dépoussiérage (Audit d'Evaluation ENOF- février 2018).

Chapitre IV

Prélèvement  
Et résultats d'analyse  
Des boues

## I. COLLECTE DES ECHANTILLONS DE BOUES

La collecte des échantillons de boues est une étape essentielle pour garantir la représentativité et la fiabilité des analyses. Elle doit respecter un protocole strict selon les normes en vigueur + (ISO 5667-13 pour les boues).



*Figure 22 : échantillon de boue dilue prélevé du de bassin de décantation*



*Figure 23 : échantillons des eaux pris de chaque point de collecte*

### a. Objectifs du prélèvement :

- Caractériser la composition chimique, physique et biologique des boues.
- Suivre la conformité aux exigences réglementaires pour le stockage, le traitement ou la valorisation des boues (ex. : réutilisation agricole, enfouissement).

### b. Fréquence des prélèvements :

- **Prélèvements réguliers** : mensuels ou trimestriels selon le niveau d'activité et les exigences réglementaires.
  - **Prélèvements exceptionnels**: lors d'incidents, changements de procédé, ou vérifications environnementales.
  - **Plan d'échantillonnage** : Doit être défini dans un protocole, validé par le responsable environnement de l'unité.
- c. **Points de collecte recommandés** : La sélection dépend de la chaîne de traitement des effluents
- **Bassin de décantation primaire** : boues fraîches et chargées.
  - **Fosses de traitement (séchage, épaissement)** : boues partiellement traitées.
  - **Stockage final (lagunes, géo membranes)** : boues prêtes à être éliminées ou valorisées.
  - **Canalisations ou trappes de purge** : uniquement si accessibles en toute sécurité.



*Figure 24 : bassin de décantation primaire*



*Figure 25 : bassin secondaire*



*Figure 26: bassin de recyclage*



*Figure 27 : Déchet solides (Boue)*

## Méthodes de prélèvement

- **Matériel requis :**

- Pelle en inox, louche, sonde de prélèvement à tige télescopique, seringue de boue (type "core sampler").
- Seaux propres en plastique ou en inox pour mélange.
- Contenants d'échantillonnage (flacons PE/PP, bocaux en verre ambré selon paramètres à analyser).



Figure 28: photos des matériels utilisés pour prélever les échantillons

- **Protocole:**

1. Prélèvement d'au moins 3 points distincts du même lot de boues.
2. Mélange homogène dans un récipient propre pour constituer un échantillon composite représentatif.
3. Séparation éventuelle d'échantillons pour analyse physique (non altérés) et chimique (digérés).
4. Noter heure, lieu, température, état physique, odeur, couleur de la boue.

- **Volume d'échantillon :**

- Environ 1 à 2 litres pour analyses globales (métaux, DCO, C/N...).

- d. **Conditions de conservation et de transport :**

- **Température:** conserver à 4 °C immédiatement après prélèvement (glacière avec packs de glace).
- **Durée maximale avant analyse :**
  - Métaux lourds : 7 jours (avec acidification).
  - DCO, matières organiques : 48 à 72 h.

- **Étiquetage obligatoire** : code échantillon, date/heure, site de prélèvement, nature de la boue.  
(procédures d'orations standards)

e. **Précautions de sécurité**

- Équipements de protection individuelle (gants nitrile, lunettes, masque).
- Lavage et désinfection du matériel après chaque prélèvement.
- Éviter toute contamination croisée entre les échantillons.

## II. ANALYSE CHIMIQUE DES BOUES

L'analyse chimique des boues permet de déterminer leur composition et d'évaluer les risques environnementaux et sanitaires associés. Elle est indispensable pour :

- Contrôler la conformité aux normes réglementaires.
- Décider du mode de traitement ou de valorisation des boues.
- Suivre l'impact sur les milieux récepteurs (sols, eaux...).

a. **Paramètres analysés**

Les boues peuvent contenir des éléments organiques, inorganiques, métalliques et pathogènes. Les paramètres à analyser sont généralement :

**1. Paramètres physico-chimiques de base :**

- pH : acidité ou alcalinité.
- Conductivité électrique : teneur en ions dissous.
- Température (si analyse sur site).

**2. Substances organiques :**

- DCO (Demande Chimique en Oxygène) : mesure de la matière organique oxydable.
- DBO5 (Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours).
- Matières organiques volatiles.
- Hydrocarbures totaux (dans le cas de rejets industriels).

**3. Substances inorganiques :**

- Matières en suspension (MES).
- Matières volatiles (perte au feu).
- Sels (chlorures, sulfates).

**4. Métaux lourds (potentiellement toxiques) :**

- Cadmium (Cd)
- Plomb (Pb)
- Mercure (Hg)
- Chrome (Cr), Nickel (Ni), Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Arsenic (As)
- Normes de référence : décret exécutif 06-141 (Algérie), norme ISO 11047.

**5. Eléments fertilisants / traces (si valorisation agricole) :**

- Azote total (N), Phosphore total (P), Potassium (K).
- Calcium (Ca), Magnésium (Mg), Soufre (S).

**b. Techniques analytiques utilisées**

Les boues sont complexes et nécessitent des prétraitements (minéralisation, dilution, filtration) avant analyse.

**a. Dosage de la DCO selon ISO 6060**

**1. Titre et Introduction**

- **Titre:** Dosage de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) selon la norme ISO 6060:1989.
- **Domaine:** Analyse de l'eau.

**2. Paramètre analysé (DCO)**

- **Définition:** La DCO mesure la quantité d'oxygène équivalente consommée par les matières organiques oxydables par le dichromate de potassium.
- **Gamme de mesure:** 30 à 700 mg/l. Si la DCO dépasse 700 mg/l, une dilution est nécessaire.
- **Limite:** Concentration en chlorures  $\leq 1000$  mg/l.

**3. Précautions de sécurité**

- **Risques:** Manipulation d'acide sulfurique, dichromate de potassium (cancérogène), sulfate de mercure (toxique).
- **Mesures:** Travail sous hotte aspirante, port d'équipements de protection (gants, masque, vêtements).

**4. Appareillage et Matériels**

- **Équipements principaux:** Balance analytique (SARTORIUS), plaque chauffante (BEHR), système de refroidissement, hotte aspirante (KOTTERMANN), burette automatique (SCHOTT).
- **Matériel:** Fioles jaugées, pipettes, tubes à réaction, barreaux magnétiques.

**5. Produits chimiques et réactifs**

- **Liste des réactifs:** Sulfate d'argent, dichromate de potassium, sulfate de mercure(II), etc. (détails sur les formules, CAS, pureté, marques).

- **Préparation des solutions:**

- Solution de dichromate de potassium (0,040 mol/l).
- Solution d'indicateur Ferroin.
- Solution de sulfate d'ammonium ferreux (sel de Mohr).

## 6. Échantillonnage et prétraitement

- **Lavage:** Verrerie lavée à l'acide sulfurique (10%).
- **Conservation:** Échantillons conservés à 4°C avec ajout d'acide sulfurique (analyse sous 5 jours).
- **Contrôle:** Utilisation d'une solution standard de potassium (DCO théorique = 500 mg/l).

## 7. Procédure expérimentale

### Étapes clés:

1. Prélèvement de 10 ml d'échantillon.
2. Ajout de dichromate de potassium et sulfate d'argent.
3. Chauffage à 148°C pendant 120 min.
4. Refroidissement et titration avec le sel de Mohr.
5. Virage de l'indicateur Ferroin (bleu-vert → rouge-marron).

## 8. Calcul et Expression des résultats

- **Formule:**

$$[DCO] = (V_0 - V_1) \times C \times 8000 \quad [DCO] = V_c (V_0 - V_1) \times C \times 8000$$

- $V_0$ : Volume témoin,  $V_1$ : Volume échantillon,  $C$ : Concentration sel de Mohr.

- **Arrondi:**

- Dizaines (ex: 56 → 60).
- Centaines pour valeurs élevées (ex: 1289 → 1300).

## 9. Contrôle qualité et gestion des déchets

- **Contrôle:** Analyse d'une solution standard avec chaque série d'échantillons.
- **Déchets:** Stockage dans un fût identifié avec dates.

## 10. Références

- **Normes:** Algérienne (1134) et internationale (ISO 6060:1989).

## 11. Schéma de procédure

- **Résumé visuel:** Étapes de dilution, ajout de réactifs, chauffage, refroidissement, et titration.

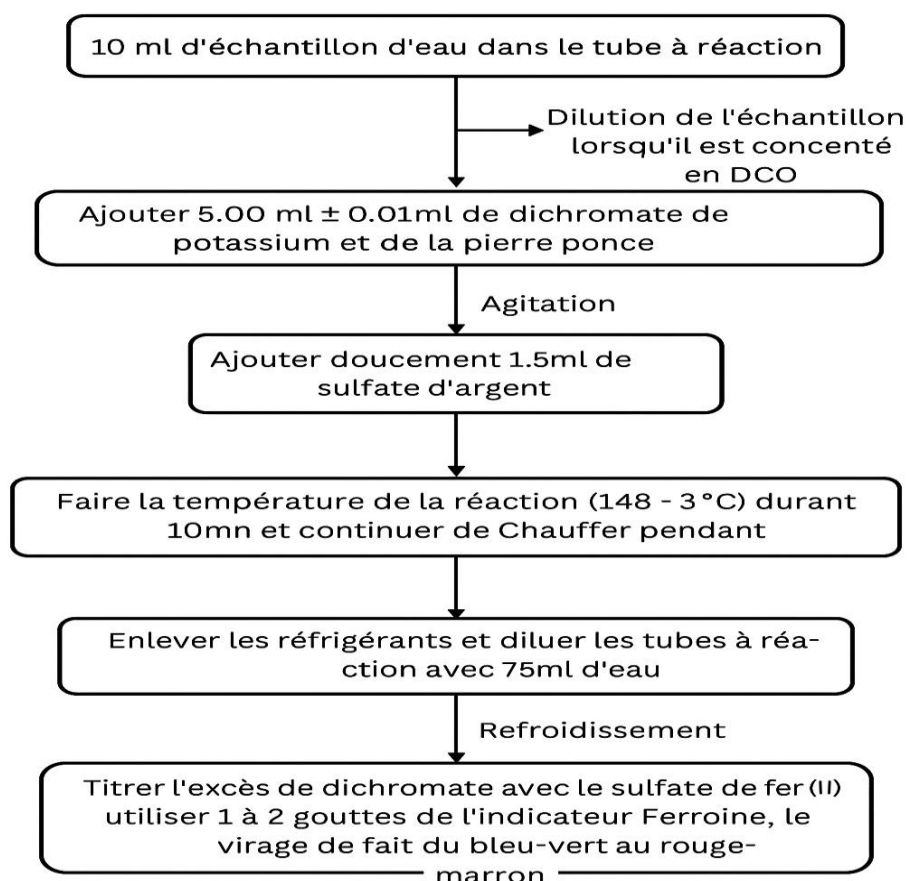


Figure 29: schéma de procédure au niveau de laboratoire ONEDD

## b. dosage du Nickel (Ni) :

### 1. Introduction et objectifs :

- **Norme de référence** : ISO 8288:1986 (dosage du Ni, Co, Cu, Zn, Cd, Pb par AAS).
- **Objectif** : Déterminer la concentration de nickel dans les eaux environnementales et industrielles.
- **Gamme de mesure** : 0,1 à 10 mg/l (étendue à 0,3–2,0 mg/l en laboratoire).

### 2. Principe de la méthode :

- **Technique** : Spectrométrie d'absorption atomique (AAS) avec flamme air/acétylène.
- **Fonctionnement** : Un échantillon acidifié est aspiré dans la flamme ; l'absorption lumineuse à 232,3 nm est proportionnelle à la concentration en Ni.

### 3. Précautions de sécurité:

- **Risques** : Manipulation de produits toxiques (acides nitrique/chlorhydrique, peroxyde d'hydrogène).
- **Mesures** : Port de lunettes, masques, et respect strict des procédures pour éviter les projections.

#### 4. Appareillage et matériel :

- **Équipements clés :**

- Spectromètre AAS (Perkin Elmer Analyste 700).
- Lampe à cathode creuse pour Ni, correction deutérium.
- Digesteur à micro-ondes (Berghof), bain de sable.

- **Matériel :** Fioles jaugées, pipettes, filtres (0,45 µm), papier filtre FIORONI.

#### 5. Produits chimiques et préparation des solutions :

- **Réactifs principaux :**

- Acides nitrique/chlorhydrique, peroxyde d'hydrogène, standard de Ni (1000 mg/l).

- **Solutions préparées :**

- Étalons de Ni (0,3–2,0 mg/l), solutions acides (HNO<sub>3</sub> 1,5 et 0,03 mol/l).
- Solution à blanc (eau + HNO<sub>3</sub>).

#### 6. Échantillonnage et prétraitement :

- **Préparation :**

- **Métaux dissous :** Filtration immédiate (0,45 µm) + acidification (pH < 2).
- **Métaux totaux :** Digestion avec HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, chauffage jusqu'à réduction du volume.

- **Contrôle :** Essai à blanc parallèle pour éliminer les interférences.

#### 7. Procédure de mesure (AAS):

- **Étapes :**

1. Étalonnage avec des solutions standards (courbe d'étalonnage linéaire).
2. Mesure des absorbances (échantillons et blancs).
3. Vérification périodique de la courbe d'étalonnage.

#### 8. Expression des résultats :

- **Arrondi :** À 0,01 mg/l près (ex : 0,07 mg/l, 1,40 mg/l).

- **Limite :**

- Détection : 0,08 mg/l.
- Détermination : 0,2 mg/l.

#### 9. Contrôle qualité et gestion des déchets :

- **Contrôle :**

- Vérification de la courbe d'étalonnage après 10–20 mesures.
- Analyse d'un échantillon de référence.

- **Déchets :**

- Neutralisation des déchets non toxiques avant rejet.
- Collecte séparée des déchets toxiques (bidons étiquetés).

## 10. Références et révisions :

- **Normes** : ISO 8288:1986, méthodes Perkin Elmer.
- **Révision** : Octobre 2010 par M. HOUAS Omar.

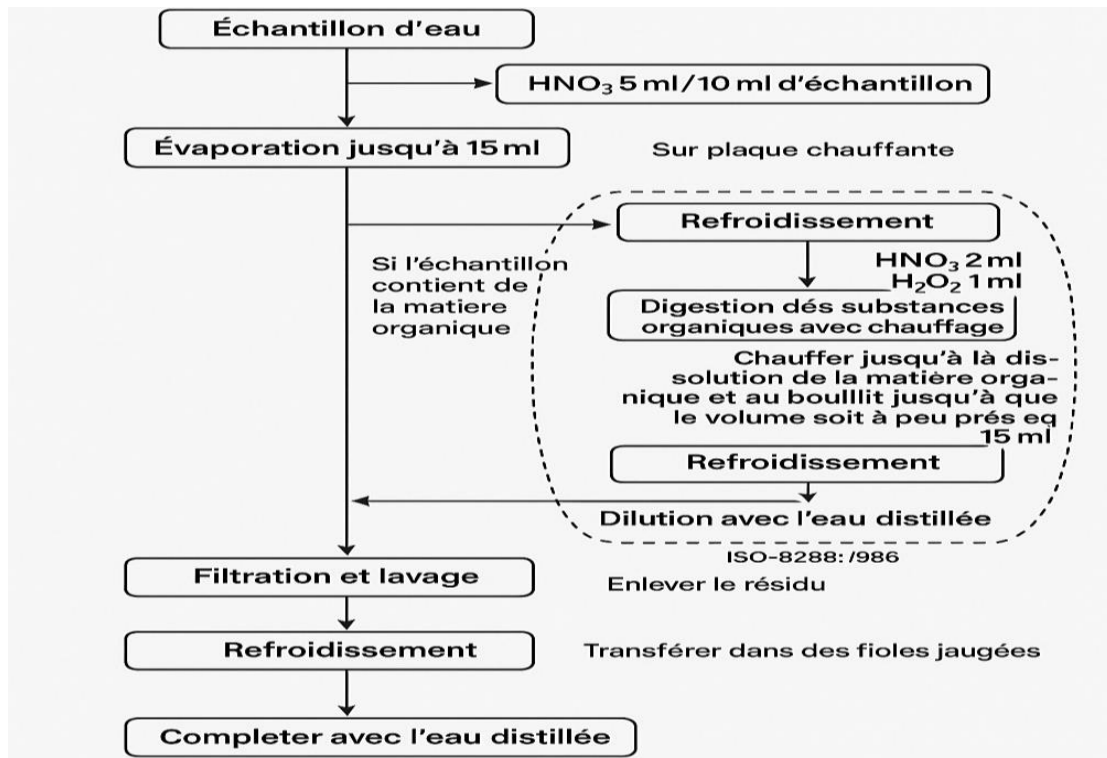


Figure 30 : schéma de procédures u niveau de laboratoire

### c. dosage du Plomb (Pb) :

#### 1. Introduction et objectifs :

- **Norme de référence** : ISO 8288 :1986 (dosage du Pb, Ni, Co, Cu, Zn, Cd par AAS).
- **Objectif** : Déterminer la concentration de plomb dans les eaux environnementales et industrielles.
- **Gamme de mesure** : 0,2 à 10,0 mg/l (étendue à 0,5–7,0 mg/l en laboratoire).

#### 2. Principe de la méthode :

- **Technique** : Spectrométrie d'absorption atomique (AAS) avec flamme air/acétylène.
- **Fonctionnement** : Un échantillon acidifié est aspiré dans la flamme ; l'absorption lumineuse à 283,3 nm (longueur d'onde typique pour Pb) est mesurée.

#### 3. Précautions de sécurité :

- **Risques** : Manipulation d'acides nitrique/chlorhydrique et de peroxyde d'hydrogène.
- **Mesures** : Port de lunettes, masques, et travail sous hotte pour éviter les expositions.

#### 4. Appareillage et matériel :

- **Équipements clés** :

- Spectromètre AAS (Perkin Elmer Analyste 700) équipé d'une lampe à cathode creuse pour Pb.

- Digesteur à micro-ondes (Berghof), bain de sable.

- **Matériel** : Fioles jaugées (100–1000 ml), filtres (0,45 µm), papier filtre FIORONI.

## 5. Produits chimiques et préparation des solutions :

- **Réactifs principaux** :

- Acides nitrique/chlorhydrique, peroxyde d'hydrogène, standard de Pb (1000 mg/l).

- **Solutions préparées** :

- Étalons de Pb (0,5–7,0 mg/l), solutions acides (HNO<sub>3</sub> 1,5 et 0,03 mol/l).

- Solution à blanc (eau + HNO<sub>3</sub>).

## 6. Échantillonnage et prétraitement :

- **Préparation** :

- **Métaux dissous** : Filtration immédiate (0,45 µm) + acidification (pH < 2).

- **Métaux totaux** : Digestion avec HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, chauffage jusqu'à réduction à 0,5 ml.

- **Contrôle** : Essai à blanc parallèle pour éliminer les interférences.

## 7. Procédure de mesure (AAS) :

- **Étapes** :

1. Étalonnage avec des solutions standards (courbe d'étalonnage linéaire).

2. Mesure des absorbances (échantillons et blancs).

3. Vérification périodique de la courbe avec un étalon à mi- gamme.

## 8. Expression des résultats :

- **Arrondi** : À 0,01 mg/l près (ex : 0,07 mg/l, 1,40 mg/l).

- **Limite** :

- Détection : 0,08 mg/l (selon contexte laboratoire).\

## 9. Contrôle qualité et gestion des déchets :

- **Contrôle** :

- Vérification de la courbe d'étalonnage après 10–20 mesures.

- Analyse d'un échantillon de référence.

- **Déchets** :

- Collecte séparée des déchets toxiques (bidons étiquetés).

## d. dosage du Zinc (Zn) :

### 1. Introduction et objectifs :

- **Norme de référence** : ISO 8288:1986 (dosage du Zn, Ni, Co, Cu, Cd, Pb par AAS).

- **Objectif** : Déterminer la concentration de zinc dans les eaux environnementales et industrielles.

- **Gamme de mesure** : 0,05 à 2,0 mg/l (étendue à 0,3–2,0 mg/l en laboratoire).

## 2. Principe de la méthode :

- **Technique** : Spectrométrie d'absorption atomique (AAS) avec flamme air/acétylène.
- **Fonctionnement** : Mesure de l'absorption lumineuse à 213,9 nm, proportionnelle à la concentration en Zn.

## 3. Précautions de sécurité :

- **Risques** : Manipulation d'acides nitrique/chlorhydrique et de peroxyde d'hydrogène.
- **Mesures** : Port de lunettes, masques, et travail sous hotte pour éviter les expositions.

## 4. Appareillage et matériel :

- **Équipements clés** :
  - Spectromètre AAS (Perkin Elmer Analyste 700) équipé d'une lampe à cathode creuse pour Zn.
  - Digesteur à micro-ondes (Berghof), bain de sable.
- **Matériel** : Fioles jaugées (100–1000 ml), filtres (0,45 µm), papier filtre FIORONI.

## 5. Produits chimiques et préparation des solutions :

- **Réactifs principaux** :
  - Acides nitrique/chlorhydrique, peroxyde d'hydrogène, standard de Zn (1000 mg/l).
- **Solutions préparées** :
  - Étalons de Zn (0,3–2,0 mg/l), solutions acides (HNO<sub>3</sub> 1,5 et 0,03 mol/l).
  - Solution à blanc (eau + HNO<sub>3</sub>).

## 6. Échantillonnage et prétraitement :

- **Préparation** :
  - **Métaux dissous** : Filtration immédiate (0,45 µm) + acidification (pH < 2).
  - **Métaux totaux** : Digestion avec HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, chauffage jusqu'à réduction à 0,5 ml.
- **Contrôle** : Essai à blanc parallèle pour éliminer les interférences.

## 7. Procédure de mesure (AAS) :

- **Étapes** :
  1. Étalonnage avec des solutions standards (courbe d'étalonnage linéaire).
  2. Mesure des absorbances (échantillons et blancs).
  3. Vérification périodique de la courbe avec un étalon à mi- gamme.

## 8. Expression des résultats :

- **Arrondi** : À 0,01 mg/l près (ex : 0,07 mg/l, 1,40 mg/l).
- **Limite** :
  - Détection : 0,01 mg/l.
  - Détermination : 0,03 mg/l.

## **9. Contrôle qualité et gestion des déchets :**

- **Contrôle :**

- Vérification de la courbe d'étalonnage après 10–20 mesures.
- Analyse d'un échantillon de référence.

- **Déchets :**

- Neutralisation des déchets non toxiques avant rejet.
- Collecte séparée des déchets toxiques (bidons étiquetés).

## **10. Références et révisions :**

- **Normes :** ISO 8288:1986, méthodes Perkin Elmer.
- **Révision :** Octobre 2010 par M. HOUAS Omar.

## **e. Détermination des matières décantables :**

### **1. Introduction et objectifs :**

- **Norme de référence :** Méthode Roddier (Les eaux usées, 2007).
- **Objectif :** Mesurer les matières décantables dans les rejets industriels.

### **2. Précautions de sécurité :**

- **Mesures :** Port obligatoire de gants et de lunettes de protection lors des manipulations.

### **3. Matériel nécessaire :**

- **Équipements :**

- Tamis AFNOR n°38 (mailles de 5 mm).
- Cône d'Imhoff gradué (1 L).
- Support pour cône.

### **4. Échantillonnage :**

- **Conteneurs :** Bouteilles en polyéthylène ou en verre.
- **Délai d'analyse :** À réaliser dès que possible après le prélèvement.

### **5. Procédure de mesure :**

#### **1. Préparation :**

- Filtrer l'échantillon à travers le tamis de 5 mm.
- Verser 1 L d'eau homogénéisée dans le cône d'Imhoff placé verticalement à l'abri de la lumière.

#### **2. Décantation :**

- Après 45 minutes, agiter le cône par 2-3 mouvements brusques pour détacher les matières adhérentes.

- Effectuer une première lecture après 1 heure, puis une seconde après 1h30.
- Agiter à nouveau après 1h45 et lire le volume final après 2 heures.
- 3. **Lecture** : Si le niveau se situe entre deux graduations, retenir la valeur inférieure.

f. **dosage du Cadmium (Cd) :**

**1. Matériel et produits chimiques :**

• **Matériel principal :**

- Fioles jaugées (100-1000 ml), pipettes, béchers (250 ml), filtres (0,45 µm).
- Dispositif de filtration et papier filtre FIORONI.

• **Réactifs :**

- Acides nitrique/chlorhydrique, peroxyde d'hydrogène, standard de Cd (1000 µg/ml).

• **Préparation des solutions :**

- Solutions d'acide nitrique (1,5 et 0,03 mol/l).
- Étalons de Cd (0,05–1,0 mg/l) et solution à blanc.

**2. Échantillonnage et prétraitement :**

- **Conteneurs** : Récipients en verre borosilicaté ou polyéthylène lavés à l'acide nitrique.
- **Prétraitement** :
  - **Métaux dissous** : Filtration immédiate (0,45 µm) + acidification (pH < 2).
  - **Métaux totaux** : Digestion avec HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, chauffage jusqu'à réduction à 0,5 ml.
- **Contrôle** : Essai à blanc parallèle.

**3. Procédure de mesure (AAS) :**

• **Conditions opératoires :**

- Longueur d'onde : 228,8 nm ; flamme air/acétylène.
- Débit de gaz : Air 17 L/min, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 2 L/min.

• **Étapes :**

1. Étalonnage avec solutions standards (0,05–1,0 mg/l).
2. Mesure des absorbances (échantillons et blancs).
3. Vérification périodique de la courbe d'étalonnage.

**4. Expression des résultats et contrôle qualité :**

• **Précision** : Résultats arrondis à 0,01 mg/l.

• **Limite** :

- Détection : 0,01 mg/l ; détermination : 0,03 mg/l.
- Gamme de mesure : 0,02–2,0 mg/l (ISO 8288).

- **Contrôle qualité :**

- Vérification de la courbe après 10–20 mesures.
- Analyse d'un échantillon de référence entre séries.

**5. Gestion des déchets :**

- **Déchets non toxiques :** Neutralisation avant rejet.
- **Déchets toxiques :** Collecte séparée dans des bidons étiquetés.

**6. Références :**

- Normes : ISO 8288 (1986), ISO 5961 (1996).
- Méthodes Perkin Elmer pour AAS.

**g. dosage du Cobalt (Co) :**

**1. Introduction et objectifs :**

- **Norme de référence :** ISO 8288:1986 (dosage du Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb par AAS).
- **Objectif :** Déterminer la concentration de cobalt dans les eaux environnementales et industrielles.
- **Gamme de mesure :** 0,1 à 10,0 mg/l (étendue à 0,2–3,0 mg/l en laboratoire).

**2. Principe de la méthode :**

- **Technique :** Spectrométrie d'absorption atomique (AAS) avec flamme air/acétylène.
- **Fonctionnement :** Mesure de l'absorption lumineuse à 240,8 nm, proportionnelle à la concentration en Co.

**3. Précautions de sécurité :**

- **Risques :** Manipulation d'acides nitrique/chlorhydrique et de peroxyde d'hydrogène.
- **Mesures :** Port de lunettes, masques, et travail sous hotte pour éviter les expositions.

**4. Appareillage et matériel :**

- **Équipements clés :**
  - Spectromètre AAS (Perkin Elmer Analyste 700) équipé d'une lampe à cathode creuse pour Co.
  - Fioles jaugées (100–1000 ml), filtres (0,45 µm), papier filtre FIORONI.
- **Réactifs :**
  - Acides nitrique/chlorhydrique, peroxyde d'hydrogène, standard de Co (1000 µg/ml).

**5. Préparation des solutions :**

- **Solutions standards :**
  - Étalons de Co (0,2–3,0 mg/l) préparés à partir d'une solution mère (1,0 g/l).
  - Solution à blanc (eau + HNO<sub>3</sub>).

- **Prétraitement des échantillons :**

- **Métaux dissous :** Filtration (0,45 µm) + acidification (pH < 2).
- **Métaux totaux :** Digestion avec HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, chauffage jusqu'à réduction à 0,5 ml.

## **6. Procédure de mesure (AAS) :**

- **Conditions opératoires :**

- Longueur d'onde : 240,8 nm ; flamme air/acétylène.
- Débit de gaz : Air 17 L/min.

- **Étapes :**

1. Étalonnage avec solutions standards.
2. Mesure des absorbances (échantillons et blancs).
3. Vérification périodique de la courbe d'étalonnage.

## **7. Expression des résultats et contrôle qualité :**

- **Précision :** Résultats arrondis à 0,01 mg/l (ex : 0,07 mg/l, 1,40 mg/l).

- **Limite :**

- Détection : 0,1 mg/l ; détermination : 0,2 mg/l.

- **Contrôle qualité :**

- Vérification de la courbe après 10–20 mesures.
- Analyse d'un échantillon de référence entre séries

## **8. Gestion des déchets :**

- **Déchets non toxiques :** Neutralisation avant rejet.
- **Déchets toxiques :** Collecte séparée dans des bidons étiquetés.

## **9. Références :**

- Normes : ISO 8288:1986.
- Méthodes Perkin Elmer pour AAS.

## **h. dosage du Chrome (Cr) :**

### **1. Introduction et objectifs :**

- **Norme de référence :** ISO 9174:1998 (dosage du Cr par AAS).
- **Objectif :** Déterminer la concentration de chrome dans les eaux environnementales et industrielles.
- **Gamme de mesure :** 0,5 à 20,0 mg/l (étendue à 0,5–5,0 mg/l en laboratoire).

### **2. Principe de la méthode :**

- **Technique** : Spectrométrie d'absorption atomique (AAS) avec flamme air/acétylène ou  $\text{N}_2\text{O}$ /acétylène.
- **Fonctionnement** : Mesure de l'absorption lumineuse à 357,9 nm, proportionnelle à la concentration en Cr.

### 3. Précautions de sécurité :

- **Risques** : Manipulation d'acides nitrique/chlorhydrique et de peroxyde d'hydrogène.
- **Mesures** : Port de lunettes, masques, et respect strict des procédures préventives.

### 4. Appareillage et matériel :

- **Équipements clés** :
  - Spectromètre AAS (Perkin Elmer Analyste 700) équipé d'une lampe à cathode creuse pour Cr.
  - Digesteur à micro-ondes (Berghof), bain de sable.
- **Matériel** : Fioles jaugées (100–1000 ml), filtres (0,45  $\mu\text{m}$ ), papier filtre FIORONI.

### 5. Produits chimiques et préparation des solutions :

- **Réactifs principaux** :
  - Acides nitrique/chlorhydrique, peroxyde d'hydrogène, standard de Cr (1000  $\mu\text{g/ml}$ ), oxyde de lanthane.
- **Solutions préparées** :
  - Chlorure de lanthane (20 g/l) pour supprimer les interférences.
  - Étalons de Cr (gamme de travail : 0,5–5,0 mg/l).
  - Solution à blanc (eau +  $\text{HNO}_3$ ).

### 6. Échantillonnage et prétraitement :

- **Préparation** :
  - **Métaux dissous** : Filtration immédiate (0,45  $\mu\text{m}$ ) + acidification ( $\text{pH} < 2$ ).
  - **Métaux totaux** : Digestion avec  $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ , chauffage jusqu'à réduction à 0,5 ml.
- **Contrôle** : Essai à blanc parallèle.

### 7. Procédure de mesure (AAS) :

- **Conditions opératoires** :
  - Longueur d'onde : 357,9 nm ; flamme air/acétylène (débit : Air 13,5 L/min,  $\text{C}_2\text{H}_2$  2 L/min).
- **Étapes** :
  1. Étalonnage avec solutions standards.
  2. Mesure des absorbances (échantillons et blancs).
  3. Vérification périodique de la courbe d'étalonnage.

### 8. Expression des résultats et contrôle qualité :

- **Précision** : Résultats arrondis à 0,01 mg/l (ex : 0,07 mg/l, 1,40 mg/l).

- **Limite :**

- Détection : 0,08 mg/l ; détermination : 0,2 mg/l.

- **Contrôle qualité :**

- Vérification de la courbe après 10–20 mesures.
- Analyse d'un échantillon de référence entre séries.

**9. Gestion des déchets :**

- **Déchets non toxiques :** Neutralisation avant rejet.
- **Déchets toxiques :** Collecte séparée dans des bidons étiquetés.

**10. Références :**

- Norme : ISO 9174:1998.
- Méthodes Perkin Elmer pour AAS.

**c. Appareils et réactifs utilisés**

- Spectrophotomètre UV-Vis
- Spectromètre d'absorption atomique (SAA)
- ICP-OES / ICP-MS (pour analyse multiéléments)
- pH-mètre, conductimètre, balance analytique
- Digesteur micro-ondes ou blocs chauffants pour minéralisation



*Figure 31 : Spectrophotometer AAS*

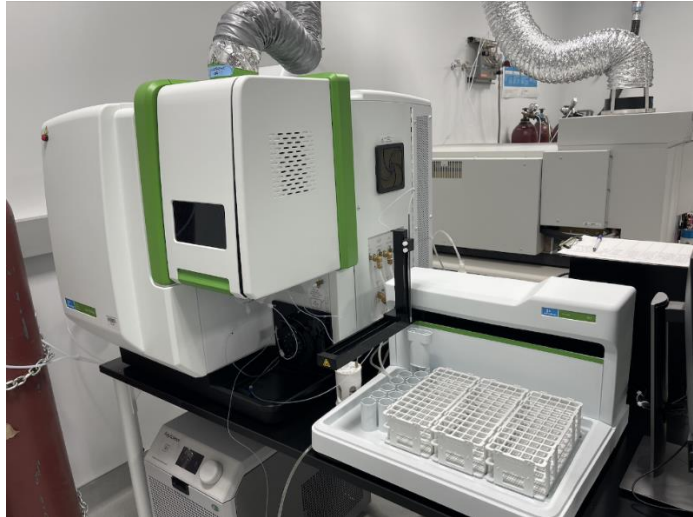


Figure 32: ICP-OES / ICP-MS

-Réactifs :

- Acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ), acide chlorhydrique ( $\text{HCl}$ ), acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- Sulfate de mercure, dichromate de potassium ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) pour DCO
- Solutions tampons pour étalonnage du pH

### III. RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES DES BOUES

#### ➤ Nature des échantillons analysés :

- **En lieu 1** : Les échantillons sont des boues solides, issus probablement des bassins ou des zones de stockage des rejets industriels.
- **En lieu 2** : Les échantillons sont des boues liquides, représentant les parties mobiles et lixiviables des métaux (ce qui simule davantage le comportement des polluants dans l'eau).

#### 1) Analyse des boues lieu 1

- **Échantillon 01** : au niveau du rejet des eaux industrielles de l'usine de traitement (stérile)

**Tab.1 : Résultats Échantillon 01-lieu1**

| Paramètre    | Résultat | Unité |
|--------------|----------|-------|
| Cuivre (Cu)  | 105.9    | mg/kg |
| Plomb (Pb)   | 9.2      | g/kg  |
| Cadmium (Cd) | 55       | mg/kg |
| Nickel (Ni)  | < 20     | mg/kg |
| Chrome (Cr)  | < 20     | mg/kg |

➤ **Interprétation :**

- **Cu (105.9 mg/kg):** Cette concentration est relativement élevée, indiquant une pollution par des matériaux métalliques, probablement liée aux processus de flottation ou lixiviation minière.
- **Pb (9.2 g/kg = 9200 mg/kg) :** Très élevé. Le plomb est un métal lourd très toxique. Cette concentration dépasse largement les seuils tolérables pour les sols ou les boues valorisables. Risques importants de contamination du sol en cas de stockage non maîtrisé.
- **Cd (55 mg/kg):** Le cadmium est toxique à très faible dose. Cette valeur est préoccupante et souligne une pollution significative.
- **Ni et Cr** sont inférieurs au seuil de détection (20 mg/kg), indiquant qu'ils ne sont pas des polluants majeurs dans cet échantillon.

➤ **Échantillon 02 :** au niveau des bassins de recyclage (la boue)

**Tab.2 : Résultats Échantillon 02-lieu1**

| Paramètre    | Résultat | Unité |
|--------------|----------|-------|
| Cuivre (Cu)  | 130.5    | mg/kg |
| Plomb (Pb)   | 16.1     | g/kg  |
| Cadmium (Cd) | 37       | mg/kg |
| Nickel (Ni)  | < 20     | mg/kg |
| Chrome (Cr)  | < 20     | mg/kg |

➤ **Interprétation :**

- **Cu (130.5 mg/kg)** : Encore plus élevé que dans l'échantillon 01. Cela indique un enrichissement en cuivre dans certaines zones, typique d'activités minières.
- **Pb (16.1 g/kg = 16100 mg/kg)**: Valeur extrêmement élevée. Cela représente un danger majeur si ces boues sont stockées à ciel ouvert ou utilisées comme amendement.
- **Cd (37 mg/kg)** : Légèrement inférieur à l'échantillon 01 mais toujours très élevé.
- **Ni et Cr**: Toujours sous les seuils détectables.

2) **Analyse des boues lieu 2**

➤ **Échantillon 01** la boue liquide

**Tab.3** : Résultats Echantillon 01- lieu2

| Paramètre    | Résultat | Unité |
|--------------|----------|-------|
| Cuivre (Cu)  | 118      | mg/l  |
| Cadmium (Cd) | 37       | mg/l  |
| Nickel (Ni)  | < 0.2    | mg/l  |
| Chrome (Cr)  | < 0.2    | mg/l  |
| Cobalt (Co)  | < 0.2    | mg/l  |
| Plomb (Pb)   | < 0.2    | mg/l  |

➤ **Interprétation :**

- **Cu (118 mg/l)** : Valeur très élevée pour une forme liquide ou lixivié. Montre une forte solubilité du cuivre, avec un potentiel de contamination des eaux souterraines si les boues sont mal confinées.
- **Cd (37 mg/l)** : Très toxique à ces concentrations, en dépassement massif des normes (généralement 0.01–0.2 mg/l).
- **Ni, Cr, Co, Pb** : Non détectés à des niveaux significatifs, ce qui est un signe positif mais pourrait refléter une variation spatiale de la pollution

➤ **Échantillon 02** boue diluées

**Tab.4 : Résultats Echantillon 02-lieu2**

| Paramètre    | Résultat | Unité |
|--------------|----------|-------|
| Cuivre (Cu)  | 19       | mg/l  |
| Cadmium (Cd) | 114      | mg/l  |
| Nickel (Ni)  | < 0.2    | mg/l  |
| Chrome (Cr)  | < 0.2    | mg/l  |
| Cobalt (Co)  | < 0.2    | mg/l  |
| Plomb (Pb)   | < 0.2    | mg/l  |

➤ **Interprétation :**

- **Cu (19 mg/l) :** Plus faible que l'échantillon 01, mais reste supérieur aux normes environnementales (en général  $\leq 1$  mg/l pour les rejets).
- **Cd (114 mg/l) :** Très alarmant. Cette concentration est l'une des plus hautes relevées. Elle représente un risque majeur pour les écosystèmes aquatiques et la santé humaine.
- **Ni, Cr, Co, Pb:** Non détectables – peut indiquer soit une faible présence, soit une faible solubilité dans ces conditions.

**3) Synthèse comparative entre les deux lieux :**

**Tab.5 : Synthèse comparative entre les deux**

| Id d'analyse | Polluants prédominants                    | Forme                        | Risques majeurs identifiés                                                            |
|--------------|-------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| u 1          | (jusqu'à 16.1 g/kg), Cd, Cu               | solides sèches               | risques de contamination des sols si utilisation comme engrais ou dépôt à l'air libre |
| u 2          | (jusqu'à 114 mg/l), Cu (jusqu'à 118 mg/l) | liquides diluées / lixiviats | forte mobilité dans l'eau – risques élevés de pollution hydrique                      |

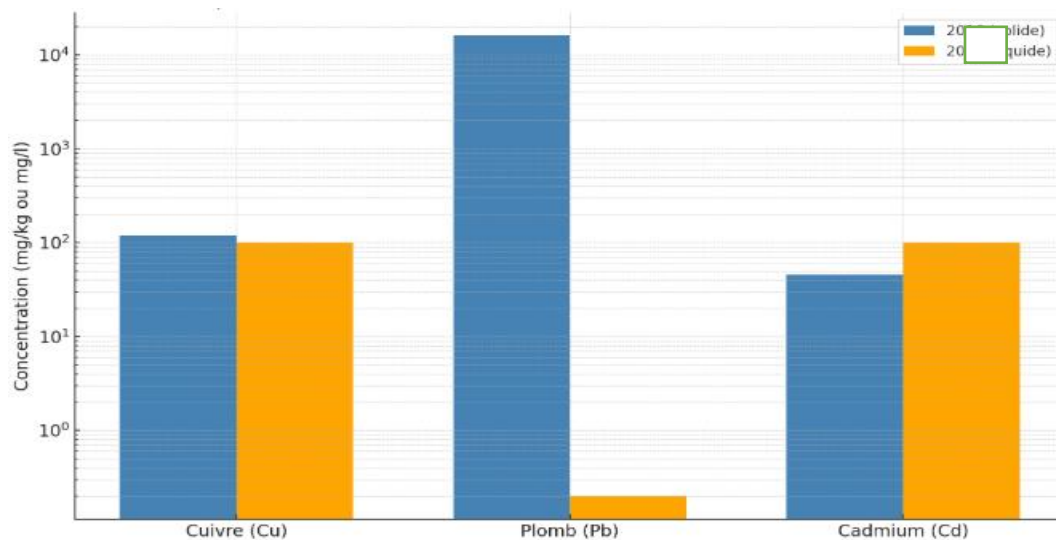


Figure 33 : graphique comparatif des concentrations des métaux lourds (Cuivre, Plomb, Cadmium) (boues solides) et (Boues liquides)

### ➤ Interprétation :

Les analyses comparatives des boues prélevées en « lieu1 » et « lieu2 » révèlent une pollution persistante et significative de l'environnement, principalement par des métaux lourds tels que le cuivre, le plomb et le cadmium. L'échelle logarithmique permet de mieux visualiser les écarts importants, notamment la forte teneur en plomb en « lieu1 » et la mobilité élevée du cadmium en « lieu2 ».

Le cuivre apparaît comme un polluant majeur commun aux deux campagnes d'analyse. En « lieu1 », il est majoritairement présent dans la phase solide des boues, tandis qu'en « lieu2 », il se trouve en grande partie sous forme soluble, ce qui augmente fortement son potentiel de migration vers les eaux souterraines et de surface. Cette solubilité accrue constitue un risque élevé pour les écosystèmes aquatiques. En ce qui concerne le plomb, les résultats de « lieu1 » montrent une contamination massive des boues solides, suggérant une accumulation importante dans les sédiments ou zones de dépôt.

En revanche, en « lieu2 », le plomb est moins présent ou faiblement mobile, probablement précipité sous forme non soluble ou limité à des zones spécifiques. Sa faible solubilité réduit le risque immédiat de lixiviation, mais il demeure un polluant persistant dans les milieux solides. Le cadmium, quant à lui, représente le métal le plus préoccupant en « lieu2 ».

# Chapitre V

## Evaluation de l'Impact Environnemental

# I. NORMES ET REGLEMENTATIONS RELATIVES A LA GESTION DES BOUES

Il y a plusieurs textes réglementaires algériens applicables, notamment :

- loi 01 minier 2014
- Loi 01-19 (2001) sur la gestion des déchets.
- Décret 06-104 : nomenclature des déchets, y compris spéciaux dangereux.
- Décret 05-315 : déclaration obligatoire des déchets dangereux.
- Décret 04-409 : modalités de transport des déchets dangereux.
- Décret 06-141 : valeurs limites de rejets d'effluents industriels.

L'unité est classée installation de 3e catégorie, soumise à autorisation environnementale, et doit nommer un délégué pour l'environnement (Décret 05-240). Le site doit aussi respecter un plan de dépollution en cas d'arrêt (Décret 06-198, art. 41-42).

Le stockage et la gestion des boues doivent donc être tracés, sécurisés et déclarés, conformément à cette réglementation. L'entreprise doit également réaliser un audit environnemental tous les ans, ce qui a motivé cette étude.

**Tab.6:** loi n01-19 du 12 déc. 2001(élimination du déchet) (1)

| Déchets (1/4)                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Texte                                                                                              | Exigence applicable                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Activité concernée                                  |
| Loi n°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets. | <b>Art. 6 :</b> Tout générateur et/ou détenteur de déchets doit prendre les mesures nécessaires pour éviter autant que faire se peut la production des déchets, notamment par :<br>- l'adoption et l'utilisation des techniques de production plus propres, moins génératrices de déchets;<br>- l'abstention de mettre sur le marché de produits générant des déchets non biodégradables;<br>- l'abstention d'utilisation de matières susceptibles de créer des risques pour les personnes, notamment pour la fabrication des emballages. | Etablissement : toute activité générant des déchets |
|                                                                                                    | <b>Art. 7 :</b> Tout générateur et/ou détenteur de déchets est tenu d'assurer ou de faire assurer la valorisation des déchets engendrés par les matières qu'il importe ou écoule et les produits qu'il fabrique.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                     |
|                                                                                                    | <b>Art. 8 :</b> Lorsque le générateur et/ou le détenteur de déchets est dans l'impossibilité d'éviter de générer et/ou de valoriser ses déchets, il est tenu d'assurer ou de faire assurer, à ses frais, l'élimination de ses déchets de façon écologiquement rationnelle, conformément aux dispositions de la présente loi et de ses textes d'application.                                                                                                                                                                               |                                                     |
|                                                                                                    | <b>Art. 9 :</b> la réutilisation des emballages de produits chimiques pour contenir directement des produits alimentaires est interdite                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                     |
|                                                                                                    | <b>Art. 11 :</b> La valorisation et/ou l'élimination des déchets doivent s'effectuer dans des conditions conformes aux normes de l'environnement, et ce notamment sans :<br>- mettre en danger la santé des personnes, des animaux et sans constituer des risques pour les ressources en eau, le sol ou l'air, ni pour la faune et la flore,<br>- provoquer des inconvénients par le bruit ou les odeurs,<br>- porter atteinte aux paysages et aux sites présentant un intérêt particulier.                                               |                                                     |
|                                                                                                    | <b>Art. 15 :</b> Les déchets spéciaux ne peuvent être traités que dans des installations autorisées par le ministre chargé de l'environnement conformément aux dispositions réglementaires en vigueur                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                     |
|                                                                                                    | <b>Art. 16 :</b> Tout générateur et/ou détenteur de déchets est tenu d'assurer ou de faire assurer, à leur charge, la gestion d leurs déchets. Etc                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                     |

**Tab.7 : loi n01-19 du 12 déc. 2001(élimination du déchet) (2)**

| Déchets (2/4)                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Texte                                                                                              | Exigence applicable                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Activité concernée                                                     |
| Loi n°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets. | <b>Art. 17 :</b> Le mélange de déchets spéciaux dangereux avec d'autres déchets est interdit.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Etablissement                                                          |
|                                                                                                    | <b>Art. 19 :</b> Il est interdit à tout générateur et/ou détenteur de déchets spéciaux dangereux de les remettre ou de les faire remettre à :<br>- toute autre personne que l'exploitant d'une installation autorisée pour le traitement de cette catégorie,<br>- tout exploitant d'une installation non autorisée pour le traitement desdits déchets...etc.                                                                                                                   | Etablissement : toute activité générant des déchets spéciaux dangereux |
|                                                                                                    | <b>Art. 20 :</b> Le dépôt, l'enfouissement et l'immersion des déchets spéciaux dangereux dans des lieux autres que les sites et les installations qu'ils leur sont réservés sont interdits.                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                        |
|                                                                                                    | <b>Art. 21 :</b> Les générateurs et/ou les détenteurs des déchets spéciaux dangereux sont tenus de déclarer au ministre chargé de l'environnement les informations relatives à la nature, la quantité et aux caractéristiques des déchets. Ils sont également tenus de fournir périodiquement les informations ayant trait au traitement de ces déchets, ainsi qu'aux mesures pratiques prises et à prévoir pour éviter autant que faire se peut la production de ces déchets. | Etablissement                                                          |
|                                                                                                    | <b>Art. 24 :</b> Le transport des déchets spéciaux dangereux est soumis à autorisation du ministre chargé de l'environnement après avis du ministre chargé des transports. Les modalités d'application des dispositions du présent article sont définies par voie réglementaire. (Cf. décret exécutif n°04-409)                                                                                                                                                                |                                                                        |
|                                                                                                    | <b>Art. 35 :</b> Tout détenteur de déchets ménagers et assimilés est tenu d'utiliser le système de tri, de collecte et de transport, mis à sa disposition par les organes désignés à l'article 32 de la présente loi.                                                                                                                                                                                                                                                          | Etablissement : toute activité générant des déchets inertes            |
|                                                                                                    | <b>Art. 37 :</b> La collecte, le tri, le transport et la mise en décharge des déchets inertes sont à la charge de leurs générateurs. Le dépôt, le rejet et l'abandon des déchets inertes sont interdits sur tout site non désigné à cet effet et notamment sur la voie publique.                                                                                                                                                                                               |                                                                        |
|                                                                                                    | <b>Art. 39 :</b> Les déchets inertes non valorisables ne peuvent être déposés que dans des sites aménagés à cet effet.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                        |

**Tab.8 : loi n01-19 du 12 déc. 2001(élimination du déchet) (3)**

| Déchets (3/4)                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Texte                                                                                             | Exigence applicable                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Activité concernée |
| Loi n°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets | <b>Art. 42 :</b> Toute installation de traitement des déchets est soumise, préalablement à sa mise en service, à :<br>- une autorisation du ministre chargé de l'environnement pour les déchets spéciaux;<br>- une autorisation du wali territorialement compétent pour les déchets ménagers et assimilés;<br>- une autorisation du président de l'assemblée populaire communale territorialement compétent pour les déchets inertes. | Etablissement      |

**Tab.9 : décret ex n04-409 du 14 déc. 2004 (transport des déchets spéciaux)**

|                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Décret exécutif n°04-409 du 14 décembre 2004 fixant les modalités de transport des déchets spéciaux dangereux.                    | <b>Art. 4.</b> Les déchets spéciaux dangereux transportés doivent être contenus dans un emballage tenant compte de leur nature, de leur état et de leur danger.                                                                                                                                                                                                                                     | Etablissement |
|                                                                                                                                   | <b>Art. 6.</b> Les emballages de déchets spéciaux dangereux doivent comporter des étiquettes lisibles et indélébiles permettant d'identifier les déchets spéciaux dangereux qu'ils contiennent. Les caractéristiques techniques des étiquettes des déchets spéciaux dangereux sont fixées par arrêté conjoint des ministres chargés de l'environnement et des transports. Arrêté non encore publié. |               |
|                                                                                                                                   | <b>Art. 21.</b> A l'issue de l'exercice des tâches qui leur incombent, l'expéditeur, le transporteur et le destinataire de déchets spéciaux dangereux sont tenus de signer le document de mouvement.                                                                                                                                                                                                |               |
| Arrêté interministériel du 2 septembre 2013 fixant les caractéristiques techniques des étiquettes des déchets spéciaux dangereux. | <b>Art. 3.</b> L'étiquette doit comporter les informations suivantes :<br>- la mention « déchets spéciaux dangereux » ;<br>- le nom du déchet spécial dangereux ;<br>- le code du déchet selon la nomenclature des déchets ; Etc                                                                                                                                                                    |               |
|                                                                                                                                   | <b>Art. 4.</b> L'étiquette, doit être conforme au modèle présenté en annexe du présent arrêté et doit occuper le 1/10ème de la surface de l'emballage.                                                                                                                                                                                                                                              |               |

**Tab.10** : décret ex n 05-315 du 10 sept. 2005 (déclaration des déchets spéciaux)

| Déchets (4/4)                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Texte                                                                                                                     | Exigence applicable                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Activité concernée |
| Décret exécutif n°05-315 du 10 septembre 2005 fixant les modalités de déclaration des déchets spéciaux dangereux.         | Art. 2. Les informations relatives à la nature, la quantité, les caractéristiques, le traitement des déchets et les mesures prises et à prévoir pour éviter la production des déchets, qui constituent la déclaration des déchets spéciaux dangereux sont établies conformément au formulaire annexé au présent décret.                                                                                                                                                                       | Etablissement      |
|                                                                                                                           | Art. 3. La déclaration doit être transmise à l'administration chargée de l'environnement, dans un délai n'excédant pas trois (3) mois au-delà de la clôture de l'année considérée par la dite déclaration.                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                    |
|                                                                                                                           | Annexe : déclaration des déchets spéciaux dangereux                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                    |
| Décret exécutif n°06-104 du 28 février 2006 fixant la nomenclature des déchets, y compris les déchets spéciaux dangereux. | Art. 4. La nomenclature des déchets s'applique à tous les déchets pouvant se présenter sous forme liquide, solide ou de boues et qu'ils soient destinés à des opérations de valorisation ou d'élimination. Toutefois le fait qu'une matière y figure ne spécifie pas qu'elle soit un déchet dans tous les cas. L'inscription sur cette liste n'a d'effet que si la matière répond à la définition du déchet telle que formulée à l'article 3 de la loi n°01-19 du 12 décembre 2001, susvisée. |                    |
|                                                                                                                           | Annexe II et annexe III                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                    |

**Tab.11** : décret ex n06-141 du 19 avr. 2006

|                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Décret exécutif n°06-141 du 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. | Art. 4 : Toutes les installations générant des rejets d'effluents liquides industriels doivent être conçues, construites et exploitées de manière à ce que leurs rejets d'effluents liquides industriels ne dépassent pas à la sortie de l'installation les valeurs limites des rejets définies en annexe du présent décret et doivent être dotées d'un dispositif de traitement approprié de manière à limiter la charge de pollution rejetée. | Toute activité rejetant des eaux usées industrielles |
|                                                                                                                        | Art. 6 : Au titre de l'autocontrôle et de l'auto-surveillance les exploitants d'installations générant des rejets d'effluents liquides industriels doivent tenir un registre où sont consignés la date et les résultats des analyses qu'ils effectuent selon des modalités fixées par arrêté du ministre chargé de l'environnement et, le cas échéant, du ministre chargé du secteur concerné. Etc                                              |                                                      |
|                                                                                                                        | Annexe I : valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                      |

**Tab.12** : décret ex n06-198 du 31mai. 2006

| Installations classées pour la protection de l'environnement (2/2)                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Texte                                                                                                                                             | Exigence applicable                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Activité concernée |
| Décret exécutif n°06-198 du 31 mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement | Art. 42. A ce titre (Cf. Art. 41), dans les trois (3) mois précédant la date de cet arrêt, l'exploitant est tenu d'informer... et de leur transmettre un dossier comprenant un plan de dépollution du site                                                                                                                                                                                                                                                                    | Etablissement      |
|                                                                                                                                                   | Art. 44. Les établissements classés existants n'ayant pas fait l'objet d'autorisation d'exploitation ou dont l'autorisation d'exploitation ne correspond pas aux catégories fixées par l'article 3 ci-dessus, ainsi qu'aux rubriques de la nomenclature des installations classées fixée par la réglementation en vigueur, sont tenus, dans un délai n'excédant pas deux (2) ans à partir de la date de promulgation du présent décret, de réaliser un audit environnemental. |                    |
|                                                                                                                                                   | Art. 47. Les établissements classés existants pour lesquels la nomenclature prévoit une étude de danger sont tenus, dans un délai n'excédant pas deux (2) ans à partir de la date de promulgation du présent décret, de réaliser une étude de danger.                                                                                                                                                                                                                         |                    |
| Décret n°05-240 du 28 juin 2005 fixant les modalités de désignation des délégués pour l'environnement                                             | Art. 5. Pour les installations classées de troisième catégorie, l'exploitant peut assurer lui-même le rôle du délégué pour l'environnement ou désigne un délégué. L'exploitant en informe le wali et le président de l'assemblée populaire communale territorialement compétents.                                                                                                                                                                                             |                    |
|                                                                                                                                                   | Art. 7. L'exploitant de l'établissement est tenu de doter le délégué pour l'environnement des moyens lui permettant d'assurer ses missions.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                    |

## IV. ÉVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES BOUES

L'évaluation de l'impact environnemental (EIE) des boues vise à analyser les effets directs et indirects des boues industrielles sur les milieux naturels : sols, eaux de surface, eaux souterraines, air, écosystèmes biologiques. Cette évaluation est indispensable pour garantir une gestion durable des déchets et respecter les exigences réglementaires (ex. décret exécutif n°06-141 du 19 avril 2006).

### a. Objectifs de l'évaluation

- **Identifier les risques** de pollution liés à l'entreposage, au rejet ou à la valorisation des boues.
- **Mesurer les impacts** potentiels sur les compartiments environnementaux.
- **Proposer des mesures d'atténuation ou de correction.**

### b. Méthodes d'évaluation selon les milieux

L'analyse des stériles et boues a mis en évidence la présence de métaux lourds (Pb, Zn, Cu, Ni notamment). Ces derniers ont un impact significatif sur les sols, affectant leur fertilité, leur biodiversité et leur capacité à soutenir la vie végétale et animale. Leur présence dans le sol peut altérer ses propriétés physiques et chimiques, rendant les plantes toxiques et nuisibles à la santé des animaux qui les consomment. De plus, les métaux lourds peuvent s'infiltrer dans les eaux souterraines.

### a. Résultats des métaux lourds (extraits principaux) :

**Tab.13 : Résultats des métaux lourds**

| Élément                   | Boues solides)    | (Boues liquides)    | Mobilité / Risque              |
|---------------------------|-------------------|---------------------|--------------------------------|
| Cuivre (Cu)               | 130 mg/kg         | 118 mg/l            | Éléments mobiles en lieu2      |
| Cadmium (Cd)              | 55 mg/kg          | 114 mg/l            | Éléments toxiques et mobiles   |
| Plomb (Pb)                | jusqu'à 16.1 g/kg | 2 mg/l              | Présent sous forme non soluble |
| Mercuriel, Chrome, Cobalt | ces               | ces ou non détectés | Risque faible actuel           |

➤ **Constat général :**

Les analyses montrent une contamination significative par des métaux lourds, avec des concentrations particulièrement inquiétantes de cadmium et de cuivre dans la phase liquide, ce qui augmente leur potentiel de migration dans l'environnement aquatique.

**b. Références utilisées pour la comparaison :**

- **Normes européennes ou directives OMS** pour les eaux et sols contaminés.

**Tab.14 : Éléments dépassant les normes**

| Élément        | Norme eau (mg/l) | Boues liquides) | Dépassement |
|----------------|------------------|-----------------|-------------|
| Cuivre (Cu)    | 0,05 mg/l        | 118 mg/l        | Dépassement |
| Cadmium (Cd)   | 0,005 mg/l       | 114 mg/l        | Dépassement |
| Plomb (Pb)     | 0,01 mg/l        | 12 mg/l         | Dépassement |
| Chrome, Cr, Co | 0,05-0,1 mg/l    | 1               | Dépassement |

➤ **Interprétation :**

- Le cadmium est extrêmement au-dessus des seuils réglementaires, représentant un risque sanitaire majeur.
- Le cuivre dépasse aussi fortement les limites, ce qui nuit à la faune aquatique et à la qualité des eaux.
- Même si le plomb est moins mobile, il reste un risque latent dans les solides.

**Conclusion de l'évaluation :**

- Les résultats indiquent une pollution sévère de l'environnement, notamment au niveau des eaux et des sols exposés aux boues ou aux lixiviats.
- Plusieurs éléments dépassent largement les normes, ce qui rend tout usage agricole, routier ou de remblai dangereux.
- Un traitement spécifique et un confinement sécurisé des déchets contaminés sont indispensables.
- Des analyses régulières sont à recommander pour surveiller l'évolution de cette pollution.

## V. DISCUSSION DES RESULTATS

### a. Interprétation des données obtenues

Les résultats analytiques montrent une contamination préoccupante des boues issues des activités de traitement de la baryte à Boucaid. En « lieu1 », les concentrations élevées de plomb (jusqu'à 16,1 g/kg) et de cadmium (jusqu'à 55 mg/kg) dans les boues solides témoignent d'une pollution historique accumulée, typique d'un passif environnemental non traité. En « lieu2 », les résultats révèlent une forte solubilisation des métaux lourds, en particulier du cuivre (jusqu'à 118 mg/l) et du cadmium (jusqu'à 114 mg/l), ce qui reflète une évolution vers une pollution plus mobile et plus dangereuse pour les milieux aquatiques.

Ces données confirment que les effluents liquides et les lixiviats de l'unité de Boucaid sont mal confinés et exposés aux eaux de ruissellement, surtout pendant les saisons pluvieuses.

### b. Identification des substances préoccupantes dans les boues

D'après les analyses chimiques, les substances préoccupantes identifiées sont :

- **Le cadmium (Cd)** : Toxique, bioaccumulable, et présent à des niveaux très élevés dans les lixiviats. Il est reconnu dans les rapports comme un polluant à fort impact écologique, en particulier sur les cultures et la qualité de l'eau souterraine.
- **Le plomb (Pb)** : Présent en quantités massives dans les échantillons solides de lieu1. Bien que peu soluble, il peut être remobilisé en cas de changements physico-chimiques du sol (acidité, pluie), ce qui justifie son classement comme polluant chronique à long terme.
- **Le cuivre (Cu)** : Particulièrement mobile en lieu2, ce qui accroît les risques de pollution des nappes phréatiques et de toxicité aquatique.

Ces métaux sont mal gérés sur le site, les boues étant stockées à l'air libre sans géo-membrane, ce qui facilite leur infiltration vers les nappes et leur dissémination vers les oueds lors des fortes pluies. (Audit d'Evaluation ENOF- février 2018) (SOMIBARAuditBoucaidUnité15).

### c. Comparaison avec les études précédentes et données disponibles

Les valeurs relevées dépassent nettement les valeurs limites fixées par le décret exécutif n°06-141 relatif aux rejets industriels liquides (ex. : Cd < 0,01 mg/l, Cu < 2 mg/l, Pb < 0,1 mg/l). En comparaison avec l'audit environnemental de 2015 réalisé sur l'unité de Boucaid, les polluants

identifiés sont cohérents avec les observations de l'époque : mauvais confinement, absence de traitement des lixiviats, rejet de boues directement dans le milieu naturel.

L'audit 2018 réalisé par le Centre National des Technologies de Production plus Propre (CNTPP) insiste également sur l'absence de système de gestion environnementale efficace, et l'existence de non-conformités réglementaires, notamment concernant les déchets dangereux et les rejets hydriques.

#### ➤ **Conclusion de la discussion**

- Les données analytiques de l'unité de Boucaid présente un risque environnemental élevé.
- La mobilité croissante des métaux lourds accentue le risque de contamination diffuse.
- Des mesures urgentes de confinement, de traitement et de suivi doivent être mises en œuvre pour éviter la dégradation irréversible des ressources naturelles locales.

## **VI. IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES BOUES DE DECANTATION**

### **a. Discussion sur les risques potentiels liés aux boues produites par l'usine de Boucaid :**

Les boues de décantation issues du traitement de la baryte à Boucaid présentent une charge élevée en métaux lourds, notamment en cadmium, plomb et cuivre, comme l'ont révélé les analyses. Ces boues constituent un déchet industriel dangereux, classé comme tel selon la nomenclature nationale des déchets (Décret exécutif n°06-104 du 28 février 2006).

#### **Les effets des métaux lourds sur la qualité de l'eau**

Les métaux lourds peuvent influencer la qualité de l'eau de diverses manières, selon leur concentration, leur forme chimique et les conditions environnementales. Voici quelques-uns des principaux effets des métaux lourds sur la qualité de l'eau :

#### ➤ **Contamination Directe**

1. **Dépôts atmosphériques** : Les métaux lourds dans l'air, issus d'activités industrielles ou de sources naturelles, peuvent se déposer dans les rivières et les lacs par la pluie ou les particules atmosphériques, entraînant leur pollution.
2. **Rejets industriels et urbains** : Les rejets des industries, des stations de traitement et des zones urbaines peuvent renfermer des niveaux importants de métaux lourds. Ces émissions proviennent souvent de procédés industriels, de déchets ménagers ou de l'usage de produits comportant des métaux lourds
3. **Agriculture** : Les eaux d'irrigation polluées par des métaux lourds issus de fertilisants ou de

pesticides peuvent favoriser la pollution des eaux superficielles et souterraines.

### ➤ **Accumulation**

1. **Sédiments** : Les métaux lourds contenus dans l'eau peuvent s'accumuler dans les sédiments des rivières, des lacs et des estuaires. Ces sédiments peuvent servir de réservoirs à long terme pour les métaux lourds, relâchant progressivement ces éléments dans l'eau au fil du temps et influençant la qualité de l'eau.
2. **Bio-aquatique**: Les êtres vivants aquatiques, comme les poissons et les crustacés, ont la capacité d'intégrer des métaux lourds dans leurs tissus via des mécanismes de bioaccumulation et de bio-magnification. Lorsque ces organismes sont ingérés par d'autres, les métaux lourds peuvent se propager dans la chaîne alimentaire, augmentant ainsi les dangers pour la santé humaine.

### ➤ **Effets sur l'écosystème**

1. **Altération de l'habitat** : Les concentrations élevées de métaux lourds peuvent entraîner des changements dans les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, affectant la disponibilité Des nutriments et la biodisponibilité de certains éléments essentiels pour les organismes aquatiques.
2. **Toxicité pour la faune et la flore** : Les métaux lourds peuvent être toxiques pour de nombreux organismes aquatiques, affectant leur santé, leur reproduction et leur survie. Certains métaux, comme le mercure et le plomb, peuvent avoir des effets toxiques même à de très faibles concentrations.

### ➤ **Risques pour la santé humaine**

1. **Contamination des sources d'eau potable**: Les métaux lourds présents dans l'eau de surface et souterraine peuvent contaminer les sources d'eau potable, représentant ainsi un risque pour la santé humaine en cas d'ingestion.
2. **Effets sur la santé** : L'exposition à des concentrations élevées de métaux lourds dans l'eau peut entraîner divers problèmes de santé chez l'homme, notamment des troubles neurologiques, des problèmes rénaux, des anomalies du développement chez les

### ➤ **Les effets des métaux lourds sur la faune et la flore**

#### • **Effets sur la Faune**

1. **Toxicité aiguë et chronique** : Les métaux lourds peuvent causer des effets toxiques immédiats et à long terme chez les animaux. Par exemple, le plomb peut causer des troubles neurologiques et la mort chez les oiseaux, tandis que le mercure peut entraîner des dommages neurologiques et comportementaux chez les poissons.

2. **Bioaccumulation et bio-magnification** : Les métaux lourds s'accumulent dans les tissus des organismes vivants et peuvent s'intensifier à mesure qu'ils progressent dans la chaîne alimentaire. Cela signifie que les prédateurs en haut de la chaîne alimentaire, tels que les oiseaux de proie et certains poissons, peuvent être particulièrement vulnérables aux effets toxiques des métaux lourds.
3. **Effets reproductifs** : De nombreux métaux lourds peuvent affecter la reproduction des animaux, entraînant une baisse de la fertilité, des anomalies congénitales et une diminution des taux de survie des jeunes. Par exemple, l'exposition au cadmium peut nuire à la reproduction chez certains mammifères et oiseaux.
4. **Immuno suppression**: L'exposition à certains métaux lourds, comme le mercure et le cadmium, peut affaiblir le système immunitaire des animaux, les rendant plus susceptibles aux maladies.

- **Effets sur la Flore**

1. **Toxicité directe** : Les métaux lourds peuvent être toxiques pour les plantes, affectant la photosynthèse, la respiration et d'autres processus métaboliques essentiels. Par exemple, le plomb peut inhiber la croissance des racines, tandis que le cadmium peut réduire la photosynthèse.
2. **Altération de la croissance et du développement**: L'accumulation des métaux lourds dans les sols peut entraîner une réduction de la croissance et du développement des plantes, ainsi qu'une diminution de leur capacité à absorber l'eau et les nutriments.
3. **Changements dans la composition des communautés végétales**: Les métaux lourds peuvent modifier la composition et la structure des communautés végétales en affectant différemment la tolérance des espèces. Certaines espèces peuvent être plus tolérantes aux métaux lourds et dominer les sites contaminés, tandis que d'autres peuvent être éliminées.

- **Impacts Eco-systémiques**

1. **Perturbation des interactions écologiques** : Les effets des métaux lourds sur les espèces individuelles peuvent perturber les interactions écologiques, telles que les relations prédateur-proie et compétitives, ce qui peut avoir des répercussions sur toute la structure et le fonctionnement des écosystèmes.
2. **Dégradation des habitats** : La contamination par les métaux lourds peut rendre certains habitats inutilisables pour la faune et la flore, entraînant une perte de biodiversité et des changements dans les fonctions écologiques.

- **Impacts sur la santé humaine**

- **Les effets du plomb sur la santé des enfants et des adultes**

Le plomb est un métal toxique qui peut avoir des graves effets sur la santé des enfants et des adultes.

Voici quelques-uns de ses effets :

1. **Enfants:**

- **Retard du développement:** L'exposition au plomb chez les enfants peut entraîner un retard dans le développement cognitif et comportemental, ce qui peut affecter leur capacité à apprendre.
- **Baisse du QI :** Le plomb peut causer une baisse du quotient intellectuel (QI) chez les enfants exposés, ce qui peut avoir des répercussions à long terme sur leur réussite scolaire et leur vie professionnelle future.
- **Problèmes de comportement :** Des niveaux élevés de plomb peuvent provoquer des problèmes de comportement tels que l'agressivité, l'irritabilité et l'hyperactivité.

2. **Adultes:**

- **Problèmes neurologiques:** L'exposition au plomb chez les adultes peut entraîner des problèmes neurologiques tels que des maux de tête, des pertes de mémoire, des troubles de l'attention et des troubles du sommeil.
- **Problèmes cardiovasculaires :** Le plomb peut également augmenter le risque de maladies cardiovasculaires telles que l'hypertension artérielle et les maladies cardiaques.
- **Effets sur la fertilité:** Chez les adultes, le plomb peut affecter la fertilité en réduisant la qualité du sperme chez les hommes et en augmentant le risque de complications pendant la grossesse chez les femmes.

➤ **L'exposition au mercure affecter le système nerveux**

1. **Toxicité neuronale :** Le mercure peut endommager les neurones et les cellules gliales, entraînant des dommages structurels et fonctionnels dans le cerveau. Cela peut provoquer une altération de la transmission des signaux nerveux et des processus cognitifs.
2. **Inflammation cérébrale :** L'exposition au mercure peut déclencher une réponse inflammatoire dans le cerveau, ce qui peut contribuer à des dommages supplémentaires aux tissus nerveux et à une altération de la fonction cérébrale.
3. **Dégénérescence neuronale :** Des niveaux élevés de mercure peuvent entraîner une dégénérescence neuronale, ce qui peut conduire à des troubles neurologiques tels que des tremblements, des difficultés de coordination et des troubles cognitifs.
4. **Perturbation du développement neurologique :** L'exposition au mercure pendant la grossesse ou l'enfance peut avoir des effets particulièrement graves sur le développement du

système nerveux, pouvant entraîner des retards cognitifs, des troubles du langage et des troubles du comportement chez les enfants.

5. **Syndrome neurotoxique** : Dans les cas graves d'intoxication au mercure, un syndrome neurotoxique peut se développer, caractérisé par des symptômes tels que des convulsions, une perte de coordination, des troubles de la vision et même un coma.

➤ **La maladie associée à l'exposition chronique aux métaux lourds**

L'exposition chronique aux métaux lourds peut être associée à plusieurs maladies et affections, en raison de leur toxicité pour le corps humain. Voici quelques-unes des maladies les plus couramment associées à l'exposition chronique aux métaux lourds :

**Intoxication au plomb (plombémie)** : L'exposition chronique au plomb peut causer une intoxication au plomb, associée à des symptômes tels que des douleurs abdominales, des maux de tête, des troubles de la mémoire et de l'apprentissage, ainsi que des dommages aux reins et au système nerveux.

**Intoxication au mercure** : L'exposition chronique au mercure peut entraîner une intoxication au mercure, caractérisée par des symptômes neurologiques tels que des tremblements, des troubles de la coordination, des problèmes de mémoire et de concentration, ainsi que des troubles digestifs et rénaux.

**Intoxication à l'arsenic** : L'exposition chronique à l'arsenic peut provoquer une intoxication à l'arsenic, associée à des symptômes tels que des lésions cutanées, des problèmes respiratoires, des douleurs abdominales, des nausées et des vomissements, ainsi que des cancers de la peau, de la vessie et des poumons.

**Maladies neuro-dégénératives** : L'exposition chronique à certains métaux lourds, tels que le mercure, le plomb et le cadmium, a été associée à un risque accru de développer des maladies neuro-dégénératives telles que la maladie de Parkinson, la maladie d'Alzheimer et la sclérose latérale amyotrophique (SLA).

**Maladies cardiovasculaires** : L'exposition chronique au plomb, au cadmium et à d'autres métaux lourds peut augmenter le risque de développer des maladies cardiovasculaires telles que l'hypertension artérielle, les maladies coronariennes et les accidents vasculaires cérébraux.

**Problèmes rénaux** : Certains métaux lourds, comme le cadmium et le plomb, peuvent causer des dommages aux reins et augmenter le risque de développer des maladies rénales telles que l'insuffisance rénale chronique.

## **a) MESURES CORRECTIVES ET PREVENTIVE**

### **a. Suggestions de mesures pour réduire l'impact des boues sur l'environnement :**

Les boues produites par l'unité de traitement de la baryte de Boucaid, fortement chargées en métaux lourds (Cd, Pb, Cu), constituent une source persistante de pollution. Des mesures immédiates et structurées sont nécessaires pour corriger les pratiques existantes et prévenir les impacts futurs.

#### **1- Aménagement et sécurisation des zones de stockage**

- Installer des bassins de confinement étanches munis de géo-membranes pour empêcher l'infiltration des polluants dans le sol.
- Prévoir un système de drainage et de collecte des lixiviats associés à un traitement localisé (neutralisation, précipitation des métaux).
- Stabiliser les talus de stockage pour éviter l'érosion et le ruissellement des particules fines vers les oueds, notamment en saison des pluies.

#### **2- Interdiction de la valorisation non encadrée**

- Prohiber toute utilisation agricole ou informelle des boues non traitées.
- Mettre en place une traçabilité des déchets dangereux selon le décret exécutif n°06-104, avec déclaration des quantités et des filières d'élimination.

#### **3- Traitement préalable des boues**

- Appliquer un traitement physico-chimique de stabilisation (chaux, ciment) pour immobiliser les métaux et limiter leur solubilité.
- Réaliser des tests de lixiviation normalisés (NF EN 12457) pour vérifier la conformité avant mise en décharge ou valorisation potentielle.

#### **4- Phytore-médiation :**

Les plantes sont utilisées pour absorber les métaux lourds du sol ou de l'eau. Elles peuvent accumuler ces métaux dans leurs tissus, ce qui permet ensuite de les récolter et de les éliminer.

#### **5- Bioleaching :**

Des micro-organismes sont utilisés pour extraire les métaux lourds des minerais ou des déchets. Les micro-organismes produisent des substances chimiques qui dissolvent les métaux, facilitant ainsi leur récupération.

**6- Échange d'ions :** Cette méthode implique l'utilisation de résines ou de matériaux spécialement conçus pour adsorber les ions métalliques présents dans l'eau. Une fois les métaux adsorbés, les résines sont régénérées pour récupérer les métaux.

## **7- Électrodialyse :**

Cette technique utilise des membranes perméables sélectives pour séparer les ions métalliques de l'eau. Les métaux lourds sont ainsi concentrés dans une solution, ce qui facilite leur élimination ultérieure.

## **8- Précipitation chimique :**

Des réactifs chimiques sont ajoutés à l'eau contaminée pour précipiter les métaux sous forme de solides, qui peuvent ensuite être filtrés ou décantés.

## **9- Oxydation / Réduction :**

Cette méthode implique l'ajout d'oxydants ou de réducteurs pour convertir les métaux lourds en formes moins toxiques ou insolubles, facilitant ainsi leur élimination ou leur confinement.

## **10- Filtration membranaire :**

Des membranes poreuses sont utilisées pour filtrer les métaux lourds de l'eau en fonction de leur taille et de leur charge électrique.

### **b. Les politiques publiques peuvent réduire la pollution par les métaux lourds**

Les politiques publiques peuvent jouer un rôle crucial dans la réduction de la pollution par les métaux lourds en mettant en place plusieurs mesures :

- 1. Réglementations environnementales strictes :** Des lois et des réglementations peuvent être mises en place pour limiter les émissions de métaux lourds provenant des industries.
- 2. Normes d'émission :** Établissement de normes strictes pour les émissions industrielles avec des mécanismes de surveillance et de contrôle pour assurer leur conformité.
- 3. Inspections et application des lois :** Renforcer les inspections et les mesures d'application des lois pour garantir que les entreprises respectent les normes environnementales et prennent des mesures pour réduire leur impact sur la pollution par les boues.
- 4. Promotion des technologies propres :** Soutien à la recherche et au développement de technologies propres qui réduisent ou éliminent l'utilisation de métaux lourds dans les processus industriels et les produits de consommation.
- 5. Encouragement au recyclage :** Promotion du recyclage des métaux lourds à partir de déchets industriels.
- 7. Coopération internationale :** Collaboration avec d'autres pays pour élaborer et mettre en œuvre des politiques mondiales visant à réduire la pollution par les métaux lourds, car ce problème peut souvent traverser les frontières nationales.

# **CONCLUSION GENERALE**

## CONCLUSION

Les analyses réalisées sur les boues de décantation de l'usine de Boucaid révèlent une contamination préoccupante par des métaux lourds, en particulier le cadmium Cd, le plomb Pb et le cuivre Cu, avec des teneurs largement supérieures aux normes environnementales admises tant dans les formes solides que liquides.

Les boues solides présentent une forte accumulation de plomb, tandis que les phases liquides ou lixiviats montrent une grande mobilité du cadmium et du cuivre, exposant ainsi les ressources en eau et les sols agricoles à des risques accrus de pollution. Cette situation engendre des risques environnementaux et sanitaires majeurs, aggravés par l'absence de confinement sécurisé et de traitement adapté des déchets, ce qui place les pratiques actuelles de gestion en non-conformité avec la réglementation nationale et expose le site à une possible dégradation irréversible des milieux naturels.

Il devient donc mettre en œuvre des mesures correctives urgentes telles que le confinement des boues dans des structures étanches, l'application de traitements physico-chimiques pour limiter la toxicité et la mobilité des polluants, ainsi que l'instauration d'un suivi environnemental rigoureux afin de prévenir toute migration des contaminants.

La gestion durable de ces boues représente un enjeu essentiel pour assurer la protection de l'environnement local, préserver la santé des populations et respecter les engagements réglementaires en matière de gestion des déchets industriels.

## TABLE DE MATIERES

|                                                                                                     |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>DEDICACES.....</b>                                                                               | <b>2</b>  |
| <b>Avant-propos.....</b>                                                                            | <b>4</b>  |
| <b>RESUMÉ.....</b>                                                                                  | <b>5</b>  |
| <b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>                                                                  | <b>8</b>  |
| <b>I. CONTEXTE DU SUJET :.....</b>                                                                  | <b>9</b>  |
| a. Présentation générale de la région et du site d'exploitation de Boucaid : .....                  | 9         |
| b -Introduction à la problématique des déchets de traitement et leur gestion dans l'industrie ..... | 9         |
| <b>II. OBJECTIFS DE L'ETUDE.....</b>                                                                | <b>10</b> |
| <b>III. JUSTIFICATION DE L'ETUDE.....</b>                                                           | <b>10</b> |
| <b>IV. STRUCTURE DU MEMOIRE .....</b>                                                               | <b>11</b> |
| <b>I. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....</b>                                                               | <b>14</b> |
| <b>III. HYDROGRAPHIE ET PLUVIOMETRIE ET CLIMATOLOGIE .....</b>                                      | <b>16</b> |
| <b>V. GEOLOGIE ET GITOLOGIE DU GISEMENT DE BOUCAID :.....</b>                                       | <b>18</b> |
| <b>VI. GISEMENT DE LA REGION DE BOUCAID : MINERAUX DE ET TYPES DES GISEMENTS : .....</b>            | <b>19</b> |
| a- Gisement Sidi Belabbes : .....                                                                   | 20        |
| b- Gisement Lakhdar : .....                                                                         | 21        |
| c- Gisement Nord .....                                                                              | 22        |
| <b>I. PRESENTATION GENERALE DE L'ETABLISSEMENT ET DE SON ENVIRONNEMENT</b>                          | <b>25</b> |
| a. Localisation de l'entreprise :.....                                                              | 26        |
| b. Historique :.....                                                                                | 27        |
| c. Processus industriel et capacité de production : .....                                           | 28        |
| <b>A. Les Boues de Décantation :.....</b>                                                           | <b>32</b> |
| 1-Définition et origine : .....                                                                     | 32        |
| 2-Composition: .....                                                                                | 32        |
| 3-Type :.....                                                                                       | 32        |

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4-Caractéristiques générales :                                            | 32        |
| <b>II. PROCESSUS DE FORMATION DES BOUES DANS LES USINES INDUSTRIELLES</b> | <b>33</b> |
| a. Origine et formation des boues industrielles                           | 33        |
| b. Processus de traitement des eaux usées et formation des boues :        | 33        |
| c. Caractéristiques des boues industrielles :                             | 34        |
| d. Gestion et valorisation des boues :                                    | 34        |
| e. Cas spécifique de l'ENOF unité de boucaid :                            | 34        |
| <b>III. la gestion des poussières</b>                                     | <b>35</b> |
| a. Processus de fonctionnement du Système de dépoussiérage :              | 35        |
| b. Processus De fonctionnement du Système de recyclage des eaux :         | 36        |
| <b>I. COLLECTE DES ECHANTILLONS DE BOUES</b>                              | <b>38</b> |
| a. Objectifs du prélèvement :                                             | 38        |
| b. Fréquence des prélèvements :                                           | 38        |
| c. Points de collecte recommandés :                                       | 39        |
| d. Méthodes de prélèvement                                                | 41        |
| f. Précautions de sécurité                                                | 42        |
| <b>II. ANALYSE CHIMIQUE DES BOUES</b>                                     | <b>42</b> |
| a. Paramètres analysés                                                    | 42        |
| b. Techniques analytiques utilisées                                       | 43        |
| <b>III. RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES DES BOUES</b>                    | <b>56</b> |
| 1) Analyse des boues lieu 1                                               | 56        |
| 2) Analyses des boues lieu 2                                              | 58        |
| 3) Synthèse comparative entre les deux lieux :                            | 59        |
| <b>I. NORMES ET REGLEMENTATIONS RELATIVES A LA GESTION DES BOUES</b>      | <b>62</b> |
| <b>IV. ÉVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES BOUES</b>               | <b>65</b> |
| a. Objectifs de l'évaluation                                              | 65        |
| b. Méthodes d'évaluation selon les milieux                                | 65        |
| Conclusion de l'évaluation :                                              | 66        |

|                                                                                                        |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>V. DISCUSSION DES RESULTATS.....</b>                                                                | <b>67</b> |
| a. <b>Interprétation des données obtenues .....</b>                                                    | <b>67</b> |
| b. <b>Identification des substances préoccupantes dans les boues .....</b>                             | <b>67</b> |
| c. <b>Comparaison avec les études précédentes et données disponibles.....</b>                          | <b>67</b> |
| ➤ <b>Conclusion de la discussion.....</b>                                                              | <b>68</b> |
| <b>VI. IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES BOUES DE DECANTATION .....</b>                                     | <b>68</b> |
| a. <b>Discussion sur les risques potentiels liés aux boues produites par l’usine de Boucaid :.....</b> | <b>68</b> |
| <b>a) MESURES CORRECTIVES ET PREVENTIVE .....</b>                                                      | <b>73</b> |
| a. <b>Suggestions de mesures pour réduire l’impact des boues sur l’environnement :.....</b>            | <b>73</b> |
| b. <b>Les politiques publiques peuvent réduire la pollution par les métaux lourds .....</b>            | <b>74</b> |
| <b>CONCLUSION .....</b>                                                                                | <b>75</b> |

## LIST DE DE FIGURE

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1: Situation géographiques de l'Ouarsenis (Benhamou, 1996 modifié).....                                   | 14 |
| Figure 2: Situation géographique de la région de Boucaïd par rapport à l'Ouarsenis (image SAT Google Earth)..... | 15 |
| Figure 3 : Extrait de la carte montrant la position d'investigation par rapport au gisement (ENOF).....          | 16 |
| Figure 4 : Esquisse Géologique du l'Ouarsenis (ALILAT. A et MEDJAOURI. M, 2018) .....                            | 19 |
| Figure 5 : Traits structuraux du secteur d'étude. (D'après Calembert, 1952 ; Benhamou, 1996, modifiée) .....     | 19 |
| Figure 6 : Plan de situation des sites formants le gisement de barytine .....                                    | 20 |
| Figure 7 : Le gisement Lakhdar + périmètres ( carte topographique De Bordj Bou Naama 1 /25000) .....             | 21 |
| Figure 8 : Vue panoramique du gisement Lakhdar Niveau 1452 m (Emplacement d'exécution de sondage) .....          | 22 |
| Figure 9: photo de l'entrée de gisement lakhdar (niveaux 1550 m).....                                            | 22 |
| Figure 10 :barytine chargée de pb .....                                                                          | 23 |
| Figure 11 : filon de barytine .....                                                                              | 23 |
| Figure 12: ENOF SPA UNITE DE BOUCAID .....                                                                       | 25 |
| Figure 13:Photo satellitaire de l'unité de ENOF-SPA de Boucaïd (Tissemsilt) .....                                | 26 |
| Figure 14: échantillons de baryte .....                                                                          | 27 |
| Figure 15 : Criblage et concassage secondaire .....                                                              | 29 |
| Figure 16: Station d'enrichissement .....                                                                        | 29 |
| Figure 17 : produit semi fini .....                                                                              | 30 |
| Figure 18:station de Séchage - broyage – dépoussiérage .....                                                     | 30 |
| Figure 19:Procédé de traitement de la baryte de Boucaïd (Audit d'Evaluation ENOF- février 2018). .....           | 31 |
| Figure 20 : échantillon de boue .....                                                                            | 32 |
| Figure 21 : Bassins de décantation des poussière .....                                                           | 36 |
| Figure 22 : échantillon de boue dilue prélever de bassin de décantation .....                                    | 38 |
| Figure 23 : échantillons des eaux pris de chaque point de collecte .....                                         | 38 |
| Figure 24 : bassin de décantation primaire.....                                                                  | 39 |
| Figure 25 : bassin secondaire .....                                                                              | 40 |
| Figure 26: bassin de recyclage.....                                                                              | 40 |
| Figure 27 :Déchet solides (Boue) .....                                                                           | 40 |
| Figure 28: photos des matériels utilisés pour prélever les échantillons.....                                     | 41 |
| Figure 29: schéma de procédure au niveau de laboratoire ONEDD .....                                              | 45 |

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 30 : schéma de procédures u niveau de laboratoire .....                                                          | 47 |
| Figure 31 : Spectrophotomètre AAS .....                                                                                 | 55 |
| Figure 32: ICP-OES / ICP-MS .....                                                                                       | 56 |
| Figure 33 : graphique comparatif des concentrations des métaux lourds (Cuivre, Plomb, Cadmium) (boues solides) et ..... | 60 |

## LIST DE DE TABLAUX

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tab.1</b> : Résultats Échantillon 01-lieu1.....                                         | 57 |
| <b>Tab.2</b> : Résultats Échantillon 02-lieu1.....                                         | 57 |
| <b>Tab.3</b> : Résultats Echantillon 01- lieu2.....                                        | 58 |
| <b>Tab.4</b> : Résultats Echantillon 02-lieu2.....                                         | 59 |
| <b>Tab.5</b> : Synthèse comparative entre les deux.....                                    | 62 |
| <b>Tab.6</b> : loi n01-19 du 12 déc. 2001(élimination du déchet) (1).....                  | 63 |
| <b>Tab.7</b> : loi n01-19 du 12 déc. 2001(élimination du déchet) (2).....                  | 63 |
| <b>Tab.8</b> : loi n01-19 du 12 déc. 2001(élimination du déchet) (3).....                  | 63 |
| <b>Tab.9</b> : décret ex n04-409 du 14 déc. 2004 (transport des déchets spécieux).....     | 64 |
| <b>Tab.10</b> : décret ex n 05-315 du 10 sept. 2005 (déclaration des déchets spécieux..... | 64 |
| <b>Tab.11</b> : décret ex n06-141 du 19 avr. 2006.....                                     | 64 |
| <b>Tab.12</b> : décret ex n06-198 du 31mai. 2006.....                                      | 65 |
| <b>Tab.13</b> : Résultats des métaux lourds.....                                           | 65 |
| <b>Tab.14</b> : Éléments dépassant les normes.....                                         | 66 |

## **BIBLIOGRAPHIE**

**ALILAT. A ET MEDJAOURI. M, (2018)**, Caractérisation et étude géochimique des rejets provenant des sites miniers d'el Abed (Tlemcen) et de Boucaïd (Tissemsilt).Mémoire mastère

**AUDIT D'EVALUATION ENOF- FEVRIER (2018)** audit d'évaluation de la conformité règlementaire par rapport à l'environnement.

**BENNAMA AMINA (2021)**, La Barytine : géologie, pétrologie, et gîtologie Usages et perspectives. (Cas du gisement de Boucaïd W- Tissemsilt).Mémoire mastère

**BENHAMOU, (1996) MODIFIE** .le pic de l'Ouarsenis intitulée .thèse de Doctorat

**BOURBALA. B & MOUSSAOUI. E, (2013)**.Essais de valorisation de la Barytine du Gisement de Boucaïd par Flottation .Mémoire Mastère

**CALEMBERT, (1952)** Etude géologique du massif de l'Ouarsenis (Algérie).

**CALEMBERT, (1952) ; BENHAMOU, (1996), MODIFIEE** .Etude géologique du massif de l'Ouarsenis (Algérie).

**DECRET (05-240)**

**DECRET (06-198, ART. 41-42)**

**DECRET EXECUTIF (n04-409 DU 14 DEC. 2004)**

**DECRET EXECUTIF (n05-315 DU 10 SPT. 2005)**

**DECRET EXECUTIF (n06-141 DU 19 AVR. 2006)**

**DECRET EXECUTIF (n06-198 DU 31 MAI. 2006)**

**DECRET EXECUTIF (N°06-104 DU 28 FEVRIER 2006)**

**EXTRAIT DE LA CARTE TOPOGRAPHIQUE DE BORDJ BOU NAAMA (1 /25000)**, carte topographique.

**EXTRAIT DE LA CARTE TOPOGRAPHIQUE DE LA REGION,**  
**ECHELLE (1/50 000)** carte topographique.

**LOI (n01-19 DU 12 DEC. 2001)**

**MATTAURE, (1958),** Etude géologique de l'Ouarsenis oriental (Algérie).

Publication de Service des Cartes Géologiques d'Algérie. Thèse

**MEKDOUR, (2017).** Valorisation des rejets de la mine de Boucaid par flottation et un prétraitement gravimétrique .Mémoire de Master

**NEDJEMEDDINE. K, (2016).**des performances d'un capteur solaire plan à conversion thermique .Mémoire de Master

**PROCEDURES OPERATIONS STANDARDS, (OCTOBER 2011).** Livre de laboratoire d'ONEDD.

**SEKLAOUI. M, (2013)** Rapport de mise en situation professionnelle.

**SOMIBARAUDITBOUCAIDUNITE15,**Audit Environnemental Unité De Traitement De Baryte De Boucaid (W. Tissemsilt).