

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Minier

Mémoire de projet de fin d'études

pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Minier

**Impact de l'exploitation du mercure  
sur l'environnement dans le district minier  
d'Azzaba (Skikda)**

Mr. BENSAAD Hocine

Mr. BESSAAD Dahmane

Sous la direction de. Mr. BERDOUDIS

Présenté(e) et soutenue publiquement le (15/06/2016)

**Composition du Jury :**

Mr. CHANANE. L .....Maitre Assistant ENP Alger .....Président

Mr. BERDOUDIS .....Maitre de Conférence ENP Alger .....Rapporteur

Mr. GACEM. R..... Maitre Assistant ENP Alger .....Examineur

# Dédicaces

*Ce travail, et bien au delà, je le dois :*

*A mes très chers parents qui m'ont fourni au quotidien un soutien et une confiance sans faille et de ce fait, je ne saurais exprimer ma gratitude seulement par des mots , Que dieu vous protège et vous garde pour nous*

*A ma précieuse sœur que j'aime beaucoup*

*A tous mes amis pour leur fidélité avec lesquels j'ai partagé mes moments de joie et de bonheur*

*A toute ma famille, oncles, tantes, cousins et cousines...*

*Que toute personne m'ayant aidé de près ou de loin, trouve ici l'expression de ma reconnaissance.*

**HOCINE**

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à mes chers parents, mes frères et sœur, et à toute ma famille sans exception.*

*Je dédie également ce travail à tous mes amis ainsi qu'à toutes les personnes qui ont fait que je me tienne devant vous aujourd'hui.*

**DAHMANE**

## **Remerciements**

*Avant toute chose, nous tenons à remercier le DIEU le plus puissant qui nous a guidé, donné la santé et le courage pour mener à bien notre travail.*

*Nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Notre reconnaissance et nos vifs remerciements à notre promoteur Mr S.Berdoudi pour ses conseils, ses critiques, sa gentillesse et sa bienveillance durant la réalisation de notre mémoire.*

*Nos remerciements et nos gratitude à Mr L.Chanane qui a bien voulu nous faire l'honneur de présider notre jury.*

*Nous tenons à remercier Mr R. Gacem pour avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Nous tenons à présenter nos remerciements à l'ensemble des enseignants qui nous ont encadré durant notre cursus universitaire qui nous ont permis d'acquérir des connaissances inestimables et pour leur présence constante, leurs conseils pratiques sur le terrain, leur dévouement et toutes leurs qualités humaines, nous leur disons MERCI.*

*Que tous ceux que nous avons oublié trouvent ici nos sincères remerciements.*

**MERCI A TOUS**

## ملخص

منطقة التعدين عزابة تقع في شمال شرق الجزائر ، هوي حقل الزئبق الوحيد في البلاد . تتألف أساسا من محجرات ( إسماعيل - غنيشة - مراسمة) . هذا الحقل نجده في التكوينات الكربونية من الحجر الرملي من الزمن الأبريسياني - اللوتيتي . تمعدن الزئبق معبارة عن حجر السنابار (كبريتيد الزئبق).

أوقف الاستغلال في عام 2005 ، لأسباب تقنية وبيئية ، و من ذلك الحين لم توجد أيّ أعمال لإزالة التلوث وإعادة التأهيل.

أجريت زيارات إلى المصنع و المحاجر المهجورة ، بُحثت وُجمعت أيضا البحوث السابقة الخاصة بتلوث المنطقة لوصف الوضع الحالي، و مستوى التلوث الناجم و المتأثرين . التلوث بالزئبق في المنطقة لديها العديد من الآثار البيئية . يحظر تأثيرها على صحة السكان المجاورين للمنطقة على شكل أعراض مع وجود علامات , وهي أقل شيوعا بين السكان الذين يعيشون في المناطق البعيدة.

**كلمات البحث الرئيسية :** الجزائر، عزابة، التعدين، البيئة، التمعدن، التلوث و الزئبق.

## Abstract :

The mining district of Azzaba, located in the north east of Algeria, is the only ore deposit site of mercury in country, composed mainly by (Ismail - Guénicha - Mra sma) deposits. Are hosted in Ypresian-Lutetian of carbonate sandstone formations. Mercury mineralization is expressed by the cinabre and métacinabre.

The Mining exploitation was stopped in 2005, for technical and environmental reasons, and since no work of cleanup and rehabilitation has been achieved.

Many Visits to the factory and abandoned quarries were performed, a collection and research in previous studies and analyses about the pollution of the region in order to describe the current situation and the degree of pollution and impacts caused by the activity of mercury mining in the region.

The visits showed us: an intense degradation of the processing plant, a total abundance of the dam and the two lagoons, quarries drowned by the acid water, occupation of large areas, significant harm to the landscape. The Analysis have shown a high pollution by Hg on land and waters around the mine complex, with a maximum value of 14,503 mg / kg for soil and 80µg / l for water, which decreases respectively away from the source of pollution. Mercury pollution in the region has several impacts on the environment. The impact on human health affected the population of the neighboring areas, the form of symptoms consistent of clinical signs that are less common among the residents living outside the area.

**Key words:** Algeria, Azzaba, mining activity, environment, pollution, mineralization, mercury.

## Résumé :

Le district minier de Azzaba situé au Nord Est de l'Algérie, est le seul gîte de mercure du pays. Composé principalement par les gisements (Ismail – Guénicha – Mra sma) qui sont encaissées dans des formations carbonatées gréseuses d'âge Yprésien-Lutétien. La minéralisation mercurielle est exprimée par le Cinabre et le métacinabre.

L'exploitation minière a été arrêtée en 2005, pour des raisons techniques et environnementales, et depuis aucun travail de dépollution et de réhabilitation n'a été réalisé.

Deux visites sur l'usine et les carrières abandonnées ont été réalisées, ainsi qu'une collection et une recherche dans les anciennes études et analyses sur la pollution de la région afin de décrire l'état des lieux, le degré de pollution et les effets environnementaux engendrés par l'activité minière dans la région.

Les deux visites effectuées ont montré : une dégradation intense de l'usine de traitement, une abondance totale des digues et des deux lagunes, des carrières noyées par les eaux, occupation de surface importante, nuisance au paysage. Les analyses ont montré une pollution élevée par le Hg dans les terrains et les eaux autour du complexe minier dépassant les normes , qui diminue respectivement en s'éloignent de la source de pollution.

La pollution mercurielle dans la région présente plusieurs impacts sur l'environnement.

L'impact de cette exploitation apparaît notamment chez la population de la région d'Azzaba, sous forme de symptômes correspondants à des signes cliniques qui sont moins répandus chez les résidents habitant les régions lointaines.

**Mots clés :** Algérie, Azzaba, activité minière, environnement, minéralisation, pollution, mercure.

# SOMMAIRE

Liste des figures.....

Liste des tableaux.....

I. INTRODUCTION .....1

## CHAPITRE I : GENERALITE SUR LE MERCURE

|  |    |
|--|----|
| I. GENERALITE SUR LE MERCURE.....                                      | 2  |
| 1. Propriétés physiques et chimiques.....                              | 2  |
| 2. Les formes du mercure.....  | 4  |
| 3. Utilisation du mercure dans le monde.....                           | 6  |
| 4. Production mondiale.....  | 8  |
| 5. Toxicologie.....  | 10 |
| A. Le méthylmercure.....   | 11 |
| B. Le mercure élémentaire et les composés inorganiques du mercure..... | 12 |
| 6. Les sources d' émission de mercure.....                             | 14 |
| A. Les sources naturelles de mercure.....                              | 14 |
| B. Le mercure d'origine anthropique.....                               | 15 |

## CHAPITRE II: LE DISCRET MINIER D'AZZABA (SKIKDA).

|  |    |
|--|----|
| I. LE DISTRICT MINIER D'AZZABA (SKIKDA)..... | 17 |
| 1. Cadre géographique.....                   | 17 |
| 2. Historique.....                           | 18 |
| 3. Traitement et production.....             | 19 |

## **CHAPITRE III: GEOLOGIE**

|      |  |    |
|------|--|----|
| I.   | GEOLOGIE REGIONALE.....  | 23 |
|      | 1. Domaine interne.....  | 23 |
|      | 2. Domaine externe.....  | 23 |
| II.  | GEOLOGIE LOCALE.....   | 26 |
|      | A. Stratigraphie.....  | 26 |
|      | B. Tectonique.....   | 29 |
| III. | ETUDE GITOLOGIQUE.....   | 30 |
|      | A. Description de la minéralisation .....                            | 30 |
|      | B. Composition minéralogique.....                                    | 31 |
|      | 1. Les minéraux primaires.....                                       | 31 |
|      | 2. Les minéraux secondaires.....                                     | 32 |
|      | 3. Les minéraux de gangue.....                                       | 33 |
|      | C. Les texture.....  | 35 |
|      | D. Succession paragenétique.....                                     | 37 |
| IV-  | HYDROGEOLOGIE .....  | 38 |
|      | A- Aperçu hydrogéologique de la zone mercurielle Nord numidique..... | 38 |
|      | B- Conditions hydrogéologiques du bassin versant d’Azzaba.....       | 38 |
|      | 1. Horizon aquifère des dépôts alluvionnaires récents .....          | 38 |
|      | 2. Complexe aquifère des dépôts de l’Oligocène (g2).....             | 39 |
|      | 3. Complexe aquifère des dépôts du Paléocène-Eocène e1-3.....        | 39 |



## **CHAPITRE IV : PARTIE ENVIRONNEMENTALE.**

|      |   |    |
|------|---|----|
| I.   | MATERIELS ET METHODES.....  | 43 |
| II.  | ETAT ACTUEL DE L'ENVIRONNEMENT AU VOISINAGE DU DISTRICT MINIER<br>D'AZZABA..... | 43 |
|      | 1. Dans le complexe d'Ismail.....   | 43 |
|      | 2. Dans les carrières.....  | 48 |
|      | a. Mra Sma I et II.....   | 48 |
|      | b. Guenicha.....  | 48 |
|      | c. Ismail.....  | 48 |
|      | 3. Dans les terrils.....  | 49 |
| III. | EVALUATION DES CONCENTRATION EN MERCURE DANS LA REGION<br>D'AZZABA.....         | 54 |
|      | 1. Etude de la pollution hydrique.....  | 54 |
|      | a. Les eaux superficielles.....   | 54 |
|      | b. Les eaux souterraines.....   | 54 |
|      | 2. Etude de la contamination des sédiments.....                                 | 55 |
|      | 3. Etude de la contamination des résidus (Scories) .....                        | 56 |
| IV.  | RESULTAT ET DISCUSSION.....   | 56 |
|      | 1. Contamination des eaux.....  | 56 |
|      | a. Eaux superficielles.....   | 56 |
|      | b. Eaux souterraines.....   | 57 |
|      | 2. Dosage du mercure dans les échantillons de sol.....                          | 58 |
|      | 3. Contamination des résidus de traitement par Hg.....                          | 58 |
| V.   | CONCLUSION.....   | 60 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| VI.  | Impact de l'exploitation de mercure .....  | 61 |
|      | 1-Impact sur la population .....   | 61 |
|      | 2- Impact sur la végétation .....  | 62 |
|      | 3-Impact sur le paysage et les surfaces.....   | 62 |
| VII. | RECOMMANDATIONS DE DEPOLLUTION DU SITE .....   | 63 |
|      | A- Traitements des sols et des déchets solides (les scories) du site.....                        | 63 |
|      | 1. Les procédés industriels de dépollution avec récupération complète du<br>polluant.....        | 63 |
|      | a. Les procédés de désorption thermique (Extraction thermique) .....                             | 65 |
|      | b. Les procédés hydrométallurgiques .....  | 65 |
|      | 2. Les procédés industriels de confinement .....   | 65 |
|      | 3. Les procédés industriels de concentration et d'immobilisation temporaire<br>du polluant ..... | 66 |
|      | a - Voie physique .....  | 66 |
|      | b- Voie chimique (techniques de stabilisation) .....   | 67 |
|      | B- TRAITEMENT DES EAUX DU SITE .....   | 68 |

## **CONCLUSION GENERALE.**

|    |                          |    |
|----|--------------------------|----|
| I. | CONCLUSION GENERALE..... | 70 |
|----|--------------------------|----|

## **BIBLIOGRAPHIE** .....

|               |    |
|---------------|----|
| Annexe A..... | 74 |
| Annexe B..... | 77 |

## **Liste des figures**

**Figure 1:** Des gouttelettes de mercure

**Figure 2 :** utilisation mondiale de mercure (d'après Maxson PA, 2006)

**Figure 3 :** Carte de la situation géographique du district mercuriel d'Azzaba

**Figure 4 :** localisation géographique des champs miniers du district minier de Azzaba

**Figure 5:** Schéma simplifié de la chaîne technologique du complexe Mercuriel d'Ismail

**Figure 6 :** carte structurale de la ceinture numidienne centrale et orientale

(Vila, 1980; Bouarroudj, 1986)

**Figure 7:** log stratigraphique du champ minier de Mrasma

**Figure 8:** log stratigraphique de la carrière d'Ismail

**Figure 9:** section polie de cinabre disséminé dans la gangue silicifiée

**Figure 11:** section polie de Veinule d'oxyde de fer recoupe l'encaissant schisteux

**Figure 10:** section polie de Veinule du cinabre recoupant la gangue silicifiée

**Figure 12:** Texture disséminée du cinabre

**Figure 13:** texture béchrique du cinabre

**Figure 14:** texture veinule du cinabre

**Figure 15 :** Localisation et état de l'usine de traitement

**Figure 16 :** localisation de la digue

**Figure 17:** localisation des deux lagunes

**Figure 18:** localisation et état des carrières Mrasma1 et Mrasma2

**Figure 19 :** localisation et état de la carrière Guenicha

**Figure 20:** localisation et état des carrières Ismail

**Figure 21:** Occupation de grande surface

**Figure 22 :** Nuisance au paysage

**Figure 23 :** Installation d'une décharge publique sur les terrils de Mrasma

**Figure 24 :** Désignation des points de prélèvements dans le réseau hydrographique

**Figure 25 :** Désignation des points de prélèvements dans la zone mercurielle

**Figure 26 :** Localisation des sites d'échantillonnage de sol dans la région d'étude.

**Figure. 27** : Carte de répartition du Hg dans les eaux souterraines de la zone de Azzaba

**Figure 28**: carte des concentration de hg dans les eaux souterraines

**Figure 29** : Variations des teneurs en mercure dans les différents prélèvements de sol.

**Figure 30** : la pollution engendrée par l'usine

**Figure. 31** - Schéma de traitement d'un procédé thermique de sol pollué.

**Figure 32** - Schéma de principe de la désorption thermique ex situ ou on site

## **Liste des tableaux**

**Tableau 1:** La Production minière mondiale de mercure en 2014 (Source : USGS)

**Tableau 2:** Les émissions anthropiques de mercure dans l'air (Source : UNEP)

**Tableau 3 :** Succession paragenétique

**Tableau 4:** les points de prélèvements dans le réseau hydrographique

**Tableau 5 :** Distances et orientations des sites d'échantillonnage.

**Tableau 6 :**Données de dosage totale de mercure pour les sites d'échantillonnages

**Tableau 7 :** Résultats des analyses chimiques

**Tableau 8:** Hg urinaire inorganique en  $\mu\text{g}/\text{G}$  de créatinine chez les travailleurs de l'usine  
et les écoliers de Azzaba et d'Annaba.

# **I. INTRODUCTION :**

L'expansion et l'intensification des activités humaines sont à l'origine de l'accroissement et de la dispersion des polluants dans le milieu naturel. Cette dispersion peut s'effectuer dans l'atmosphère sous forme d'aérosols, de fumées,.... Susceptibles de sédimenter ou de retomber avec les précipitations atmosphériques ( pluies acides) ; par infiltration à partir des déchets,; par ruissellement à partir des stockages, ou par les déversements directs dans les eaux de surfaces. Toutes ces sources de pollutions constituent une menace pour l'environnement.

La région d'Azzaba , située dans la wilaya de Skikda au nord est de l'Algérie est caractérisée par l'implantation d'une usine de mercure (composé de plusieurs carrières et une usine de traitement), actuellement fermée, qui a porté durant de longues années de sérieux préjudices à l'environnement.

Cette étude nous a permis de vérifier la pollution mercurielle des sites (usine de traitement, carrières , réseau hydrique ) de l'évaluer et de proposer des solutions et des recommandations pour éliminer ce danger ou au moins le minimiser.

Dans le cadre de la préparation de notre mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en génie minier, il nous a été confié l'étude de l'impact de l'exploitation du mercure sur l'environnement du district mercuriel d'Azzaba.

L'objectif de ce travail consiste à :

1. Identifier et décrire les zones suspectées d'être polluées : l'usine de traitement et les carrières abandonnées.
2. vérifier l'existence de cette pollution dans les alentours.
3. Proposer des mesures et des pratiques urgentes de dépollution .

### I. Généralités sur le mercure :

Le **mercure** est un élément chimique de symbole **Hg** et de numéro atomique 80.

Son symbole **Hg** provient du latin, lui-même emprunté au grec, **Hydrargyrium** qui signifie « argent liquide »

#### 1- Propriétés physiques et chimiques :

Sous les conditions normales de température et de pression (à température ambiante (entre  $-10^{\circ}$  et  $+40^{\circ}\text{C}$ ) et à 1 atm ), c'est **le seul métal à l'état liquide** (le seul autre élément à l'état liquide dans des conditions atmosphériques de pression et de température est le brome, un halogène).( figure 1)

- Masse atomique :200,59 u
- Configuration électronique : **Xe**  $4f^{14} 5d^{10} 6s^2$
- Température de fusion :  $-38,83^{\circ}$
- Température de vaporisation :  $357^{\circ}$  , C'est aussi le seul métal dont la température de vaporisation soit inférieure à  $650^{\circ}$  .
- Point triple :  $-38,8344^{\circ}\text{C}$  ,  $1,65 \times 10^{-4}$  Pa
- Masse volumique :  $13,579 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  pour le mercure liquide à  $25^{\circ}\text{C}$   
mais  $14,6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  pour le mercure solide
- Couleur : Argenté blanc
- Structure cristalline : rhomboédrique
- Série chimique : Métal, Métal de transition, Éléments du groupe 12, Éléments de la période 6, Métal lourd toxique
- Abondance dans la nature : 0,05 ppm dans la croûte terrestre.

■ C'est un métal qui se caractérise par une extrême volatilité.

Le mercure (Hg) possède 40 isotopes connus, de nombre de masse variant entre 171 et 210. Parmi ces isotopes, sept sont stables ,  $^{196}\text{Hg}$ ,  $^{198}\text{Hg}$ ,  $^{199}\text{Hg}$ ,  $^{200}\text{Hg}$ ,  $^{201}\text{Hg}$ ,  $^{202}\text{Hg}$  et  $^{204}\text{Hg}$ , et constituent l'intégralité du mercure naturel, dans des fractions allant de 0,15 à 29,86 %, le plus abondant étant  $^{202}\text{Hg}$ , le moins  $^{196}\text{Hg}$ .

## CHAPITRE I: GENERALITE

---

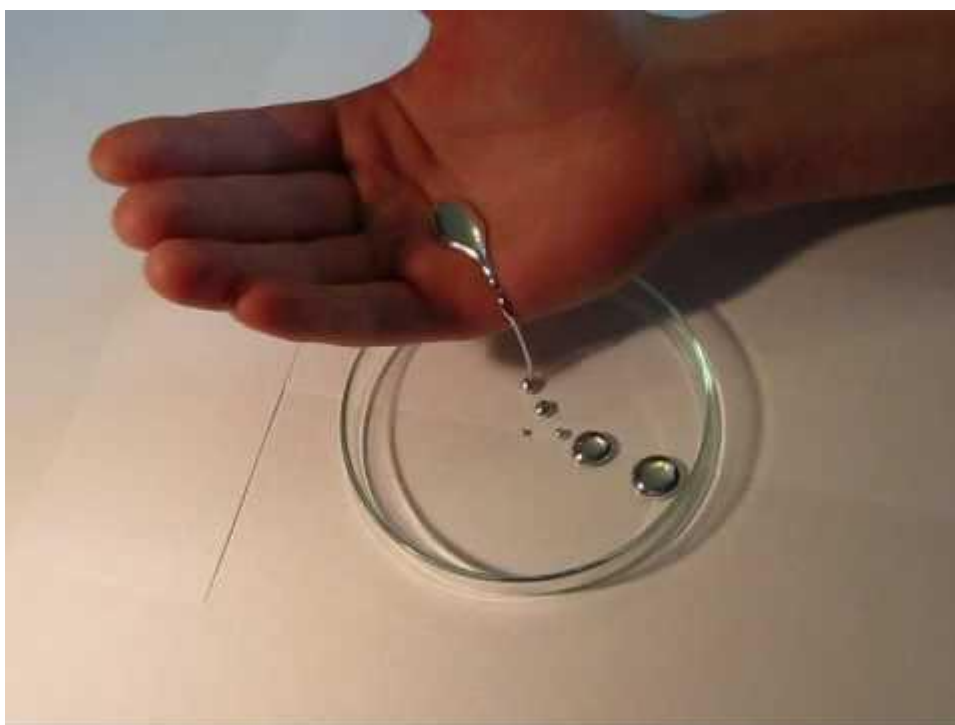
Le mercure possède une grande densité c'est pour cela il était utilisé dans les anciens baromètres.

Son utilisation dans les thermomètres revient à son grand coefficient de dilatation .

C'est un métal qui se combine très facilement avec d'autres molécules (forme facilement des alliages avec les métaux) les amalgames : un alliage métallique qui se forme facilement, sans chauffage et qui est composé de mercure et d'un autre métal le plus souvent de l'or ,de l'argent, et de l'étain , Ils peuvent être naturels ou artificiels)., Le mercure ne forme pas d'amalgame avec le fer , le platine, le tantale et le tungstène.

On dénombre plus de 20 espèces minérales . Leur intérêt économique est moindre.  
Citons cependant :

Coloradoïte ( $\text{HgTe}$ ) / Tiemannite ( $\text{HgSe}$ ) / Livingstonite ( $\text{HgS}\cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$ ) / Calomel ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ )



**Figure 1:** Des gouttelettes de mercure



### 2- les formes du mercure :

Le mercure, naturellement présent dans l'environnement, existe sous de nombreuses formes.

Comme le plomb ou le cadmium, c'est un métal lourd et un constituant de la croûte terrestre. Sous sa forme pure, on l'appelle soit « mercure élémentaire », soit « mercure métallique » (symbolisé par Hg(0) ou Hg<sup>0</sup>).

Le mercure se trouve rarement dans la nature sous forme de métal liquide pur; il y est plutôt présent sous forme de composés ou de sels inorganiques. On trouve des composés du mercure monovalent et divalent (symbolisés par Hg(I) et Hg(II) ou Hg<sup>2+</sup>, respectivement). Le Hg(II) forme de nombreux composés organiques et inorganiques.

### les principaux groupes du mercure :

- **Le mercure élémentaire** est un métal luisant, blanc argenté, liquide à température ambiante; S'il n'est pas confiné, le mercure métallique peut, à la température ambiante, s'évaporer en partie et former des vapeurs incolores et inodores. Plus la température est élevée, plus le mercure métallique libérera de vapeurs. Dans certains cas, les personnes ayant respiré des vapeurs de mercure signalent avoir eu un goût métallique dans la bouche.
- **Les composés inorganiques** du mercure comprennent le sulfure de mercure (HgS), l'oxyde de mercure (HgO) et le chlorure de mercure (HgCl<sub>2</sub>). Ces composés sont également appelés sels de mercure. La plupart des composés inorganiques du mercure se présentent sous forme de poudre ou de cristaux blancs, sauf le sulfure de mercure, qui est rouge et qui vire au noir après exposition à la lumière. Certains sels de mercure (comme le HgCl<sub>2</sub>) sont suffisamment volatils pour être présents à l'état gazeux dans l'atmosphère. Cependant, la solubilité de ces composés gazeux inorganiques (ioniques) du mercure dans l'eau et leur réactivité chimique font qu'ils se déposent beaucoup plus rapidement, à partir de l'atmosphère, que le mercure élémentaire; leur durée de vie dans l'atmosphère est donc beaucoup plus courte que celle du vapeur de mercure dans l'atmosphère.

## CHAPITRE I: GENERALITE

---

- Le mercure, combiné au carbone, donne des composés dits « **composés organiques du mercure** » ou « composés organomercuriels ». Le mercure peut former un grand nombre de composés organiques (p. ex. le diméthylmercure, le phénylmercure, l'éthylmercure et le méthylmercure); cependant, le composé le plus courant dans l'environnement, et de loin, est le méthylmercure. Comme les composés inorganiques du mercure, le méthylmercure et le phénylmercure existent tous deux sous forme de sels (p. ex. le chlorure de méthylmercure ou l'acétate de phénylmercure). À l'état pur, la plupart des formes de méthylmercure et de phénylmercure sont des solides cristallins. Le diméthylmercure, cependant, est un liquide incolore

Plusieurs formes du mercure existent à l'état naturel dans l'environnement. Les formes naturelles les plus courantes dans l'environnement sont le mercure métallique, le sulfure de mercure, le chlorure de mercure et le méthylmercure. Certains micro-organismes (comme les bactéries méthanogènes ) et processus naturels peuvent faire passer le mercure présent dans l'environnement d'une forme chimique à une autre.

### **En conditions naturelles, le mercure existe principalement sous les formes suivantes :**

1. mercure métallique liquide ou vaporisé;
2. composés du mercure présents dans des minerais (solides);
3. ions en solution ou composés ioniques du mercure (sels inorganiques ou organiques);
4. complexes ioniques solubles;
5. composés organiques non ioniques, à l'état gazeux ou en solution;
6. mercure lié à des particules inorganiques ou organiques par adsorption ionique.

### **3- Utilisation du mercure dans le monde:**

Le mercure est connu depuis des milliers d'années; le fait qu'il était le seul métal liquide le rendait fascinant, et il a été utilisé dans un grand nombre de produits et de procédés exploitant ses caractéristiques uniques. Comme le mercure est liquide à température ambiante, que c'est un bon conducteur électrique, que sa densité et sa tension superficielle sont très élevées, qu'il se dilate et se contracte, en réponse aux de pression et de température, de manière uniforme sur toute la plage de conditions où il est liquide, et qu'il est toxique pour les micro-organismes (y compris les organismes pathogènes) et autres parasites, cet élément se prête très bien à de nombreuses applications.

Dans le passé, un certain nombre de composés organiques du mercure ont trouvé des applications assez variées, par exemple comme pesticides (utilisation importante dans le traitement des semences, entre autres), et comme biocides dans certaines peintures, dans des produits pharmaceutiques et dans des cosmétiques. Bien que nombre de ces utilisations soient devenues moins répandues dans certaines régions du monde, des composés organiques du mercure sont encore employés à plusieurs fins; on peut notamment citer l'utilisation pour le traitement des semences dans certains pays, l'utilisation du diméthylmercure en petite quantité comme étalon de référence pour certains tests chimiques, et l'emploi du thimerosal (qui contient du mercure éthylique) comme agent conservateur dans certains vaccins et autres produits médicaux et cosmétiques depuis les années 1930. À mesure que les effets potentiellement nocifs du mercure sur la santé et l'environnement ont été reconnus, le nombre d'applications du mercure (tant organique qu'inorganique) ainsi que le volume de mercure utilisé ont été réduits de manière significative dans beaucoup de pays industrialisés, surtout depuis une vingtaine d'années.

#### **Exemples d'utilisations du mercure**

##### **Mercure métallique**

- extraction de l'or et de l'argent (depuis des siècles)
- catalyseur dans les fabriques de chlore (installations d'électrolyse à mercure)
- la fabrication de polychlorure de vinyle (PVC) dans les manomètres, pour mesurer et réguler la pression.
- dans les thermomètres

## CHAPITRE I: GENERALITE

- dans les commutateurs électriques et électroniques
- dans les lampes fluorescentes
- dans les amalgames dentaires (couramment appelés plombages), dans une proportion variant entre 45 et 50 % du poids total.

### Composés du mercure

- dans les piles (sous forme de dioxyde)
- biocides dans l'industrie du papier, dans les peintures, et sur les semences (le traitement et la conservation par : le chlorophénylmercure, l'acétate de phénylmercure, le chlorure de méthylmercure, le phosphate d'éthylmercure, etc).
- antiseptiques dans les produits pharmaceutiques
- réactifs pour les analyses de laboratoire
- catalyseurs
- pigments et colorants
- détergents .
- explosifs .

Au niveau mondial, le mercure est surtout utilisé dans l'orpaillage (mines d'or), la fabrication de chlorure de vinyle et l'industrie du chlore et de la soude alors , l'industrie du chlore et de la dentisterie.

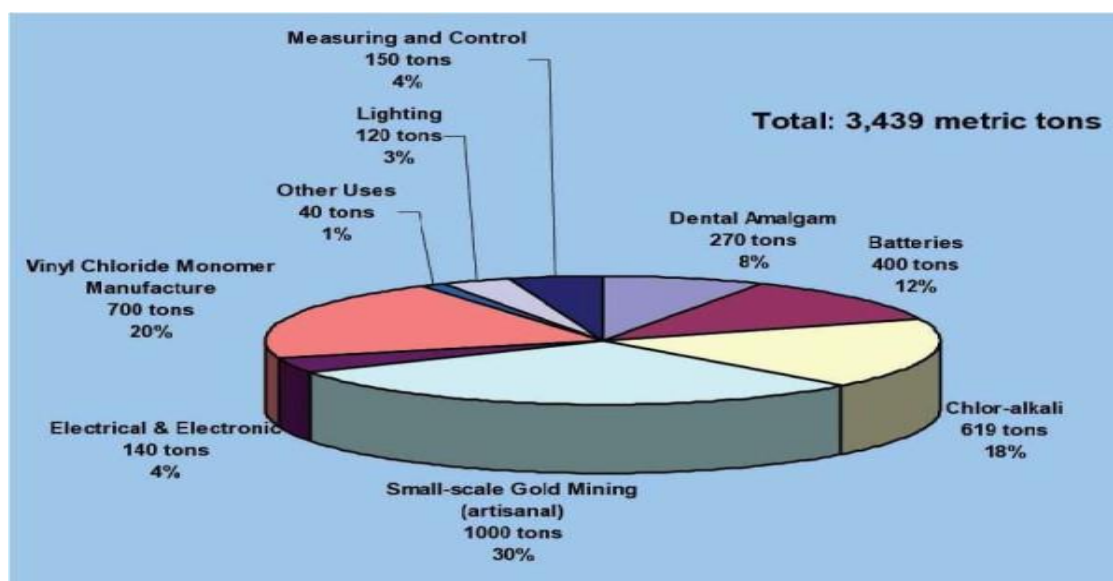


Figure 2 : utilisation mondiale de mercure (d'après Maxson PA, 2006)

En 2014, la consommation mondiale est estimée à 2 000 t/an.

### **4- Production mondiale:**

#### **A- Sources du mercure sur le marché:**

Le mercure offert sur le marché mondial provient d'un certain nombre de sources différentes, qui comprennent (l'ordre n'étant pas lié à l'importance) :

1. la production minière de mercure primaire (c.-à-d. le mercure extrait de minerais se trouvant dans la croûte terrestre)
  - a. soit comme produit principal de l'activité minière;
  - b. soit comme sous-produit de l'extraction ou du raffinage d'autres métaux (tels que le zinc, l'or et l'argent) ou de minerais, le mercure est parfois associé à divers minerais sulfurés, par exemple la [blende](#) (les concentrés de zinc contiennent de 5 à 350 ppm de Hg). De même, le mercure est souvent présent dans les gisements d'[or](#) et d'[argent](#).
2. la récupération du mercure primaire pendant le raffinage du gaz naturel (en tant que sousproduit,
3. le retraitement ou l'exploitation des résidus miniers contenant du mercure accumulés au fil du temps.
4. le recyclage du mercure récupéré dans les produits usés et dans les déchets de procédés industriels. De grandes quantités (« réservoirs ») de mercure sont « stockées » au sein de la société dans les produits encore en utilisation et « sur les tablettes des utilisateurs »;
5. les stocks de réserve de mercure détenus par les gouvernements.
6. les stocks privés (tels que le mercure utilisé dans diverses industries, y compris celle de la production de chlore dont une part pourrait revenir sur le marché.

### **B- Production:**

- Le maximum de la production mondiale a été atteint en **1970**, avec 10 000 t.
- En **2003** avant la fermeture de la mine du mercure de Azzaba en Algérie : La majorité de la production vient de Chine (610 t). Arrivent ensuite, à égalité (300 t chacun) l'Algérie (mine de Azzaba) et le Kirghizistan (mine de Khaydarkan, district de Fergana). L'Espagne (Almaden) suit, avec (150 t) en 2003, dont la majeure partie provient du recyclage.
- La Production **minière** mondiale de mercure en **2014** : 1 870 t :

**Tableau 1:** La Production minière mondiale de mercure en 2014 (Source : USGS)

|                     |                |
|---------------------|----------------|
| <b>Chine</b>        | <b>1 600 t</b> |
| <b>Kirghizistan</b> | 100 t          |
| <b>Chili</b>        | 50 t           |
| <b>Russie</b>       | 50 t           |
| <b>Pérou</b>        | 50 t           |
| <b>Tadjikistan</b>  | 30 t           |

Les productions du Chili et du Pérou proviennent de l'extraction de minerai de cuivre, d'argent ou d'or. Aux États-Unis, une production non quantifiée provient des mines d'or et d'argent du Nevada.

Toutefois, on fait remarquer que la plupart des pays ne déclarent pas leur production de mercure, il s'ensuit que l'incertitude sur les données concernant la production mondiale est grande.

### **5- Toxicologie**

La toxicité du mercure varie selon sa forme chimique, et les symptômes et signes de l'intoxication diffèrent donc dans le cas d'expositions au mercure élémentaire, aux composés inorganiques ou organiques du mercure (en particulier, les composés d'alkylmercure, tels que les sels de méthylmercure et d'éthylmercure, et le diméthylmercure).

Les sources d'exposition sont aussi très variées selon les différentes formes de mercure: Pour les composés d'alkylmercure, parmi lesquels le méthylmercure est de loin le plus important, l'alimentation représente la principale source d'exposition, en particulier le poisson et les autres produits de la mer. Quant aux vapeurs de mercure élémentaire, ce sont les amalgames dentaires qui constituent la source la plus importante pour le grand public, mais certaines expositions en milieu de travail peuvent être beaucoup plus importantes. Dans le cas des composés inorganiques du mercure, les aliments sont la principale source pour la plupart des personnes.

Notons cependant que dans certains groupes de la population, les crèmes pour éclaircir la peau et les savons contenant du mercure, de même que l'usage du mercure dans certaines pratiques culturelles ou rituelles ou en médecine traditionnelle, peuvent également entraîner des expositions significatives au mercure inorganique ou élémentaire.

S'il est largement reconnu que le mercure et ses composés sont des produits hautement toxiques dont les effets potentiels doivent être examinés soigneusement, des discussions se poursuivent sur le degré de toxicité de ces produits, en particulier le méthylmercure. Les résultats d'études réalisées au cours des dernières années indiquent que des effets toxiques peuvent se produire à des concentrations plus faibles que ce qu'on croyait auparavant, et une proportion plus importante de la population mondiale pourrait éventuellement être touchée.

Etant donné que les mécanismes qui sont à l'origine des effets toxiques subtils – et la démonstration de ces effets toxiques – sont des phénomènes assez complexes, la compréhension de cette question importante demeure très incomplète.

### **A- Le méthylmercure:**

Au cours des dernières années, le composé qui a été le plus largement étudié dans les recherches toxicologiques est le méthylmercure.

Parmi les composés organiques du mercure, le méthylmercure occupe une place particulière dans la mesure où des populations importantes y sont exposées et où sa toxicité est mieux caractérisée que celle d'autres composés organiques du mercure. À l'intérieur du groupe des composés organiques du mercure, on estime que les composés alkylés du mercure (surtout l'éthylmercure et le méthylmercure) auraient une toxicité assez comparable (et il en va de même de leur usage historique en tant que pesticides), tandis que d'autres composés du mercure, tels que le phénylmercure, ressemblent davantage au mercure inorganique pour ce qui est de leur toxicité.

**Source :** Le méthylmercure est présent à l'échelle mondiale dans le poisson et les mammifères marins consommés par les humains. Il est formé naturellement par le mercure résultant des activités humaines et le mercure libéré naturellement dans l'environnement) par l'activité biologique dans les environnements aquatiques et l'on assiste à une bioamplification dans la chaîne alimentaire, d'où les concentrations beaucoup plus élevées mesurées chez les poissons et les mammifères prédateurs supérieurs que dans l'eau et dans les organismes inférieurs (poisson comme le requin, le thazard, l'espadon et certains thons de grande taille et dans les mammifères comme le phoque et la baleine ).

Le méthylmercure est un neurotoxique bien connu qui peut en particulier avoir des effets nocifs sur le développement du cerveau. De plus, ce composé franchit aisément les barrières placentaire et hémato-encéphalique, c'est pourquoi les expositions survenant pendant la grossesse suscitent le plus d'inquiétude. En outre, quelques études laissent entendre que même de faibles augmentations de l'exposition au méthylmercure peuvent être nocives pour l'appareil cardiovasculaire et faire augmenter le taux de mortalité. Etant donné la prévalence des maladies cardiovasculaires à l'échelle mondiale, ces observations, même si elles restent à confirmer, donnent à croire que les expositions au méthylmercure doivent faire l'objet d'un examen minutieux et d'un suivi additionnel. De plus, selon une évaluation globale, les composés du méthylmercure sont considérés



## CHAPITRE I: GENERALITE

---

comme des agents potentiellement cancérigènes par le Centre international de recherche sur le cancer (IARC, 1993).

Le méthylmercure a été utilisé aussi de façon délibérée comme pesticide ou biocide (p. ex. dans le traitement des graines de semence), et cet usage a été à l'origine d'incidents d'intoxications sévères en Iraq avant 1960 et de nouveau au début des années 1970 (des personnes qui avaient consommé des semences de céréales traitées avec des fongicides contenant ces composés alkylés du mercure, ces semences importées qui sont arrivées après la saison des semailles et ont donc servi à la fabrication de farine utilisée pour faire du pain les premières éclosions ont été causées par l'éthylmercure et sont survenues en 1956 et en 1959-1960, et environ 1 000 personnes ont été touchées. La deuxième éclosion a été causée par le méthylmercure et s'est produite en 1972. Le nombre de personnes hospitalisées lors de la deuxième éclosion a été estimé à environ 6 500, dont 459 sont décédées. )

Le premier rapport épidémiologique d'intoxication au méthylmercure concernait 628 cas humains survenus à Minamata, au Japon, entre 1953 et 1960. Le taux de prévalence global des troubles neurologiques et mentaux dans la région de Minamata s'établissait à 59 p. 100.

### **B- Le mercure élémentaire et les composés inorganiques du mercure:**

**Source :** Il existe de nombreuses sources de mercure élémentaire, les amalgames dentaires représentant une source d'exposition importante au mercure élémentaire. Les rapports nationaux soumis au PNUE dans le cadre de cette évaluation indiquent toutefois que l'exposition au mercure élémentaire et inorganique attribuable à la pollution locale, à une exposition professionnelle, à certaines pratiques culturelles et rituelles et à certains médicaments traditionnels peut varier considérablement d'un pays et d'une région à l'autre du monde et que ces expositions sont importantes à certains endroits.

L'inhalation des vapeurs représente la principale voie d'exposition au mercure élémentaire.

## CHAPITRE I: GENERALITE

---

Environ 80 % des vapeurs inhalées sont absorbées par les tissus pulmonaires. En outre, ces vapeurs franchissent aisément la barrière hémato-encéphalique et ont des propriétés neurotoxiques bien connues. L'absorption intestinale du mercure élémentaire est faible.

Dans l'organisme, le mercure élémentaire peut être oxydé dans les tissus pour donner la forme inorganique divalente.

Chez l'homme, on a observé des troubles neurologiques et des troubles du comportement consécutifs à l'inhalation de vapeurs de mercure élémentaire. Parmi les symptômes particuliers figurent les tremblements, la labilité émotionnelle, l'insomnie, les pertes de mémoire, les changements neuromusculaires et les maux de tête. De plus, on a noté des effets sur les reins et la thyroïde. Des expositions élevées peuvent être mortelles. Pour ce qui est de la cancérogénicité, l'ensemble des résultats disponibles indiquent que le mercure métallique et les composés inorganiques du mercure sont inclassables d'après le Centre international de recherche sur le cancer (IARC, 1993).

### **6- Les sources d'émission de mercure :**

Le mercure qui existe à l'état stable dans la croûte terrestre est souvent qualifié de mercure «géologique». Par opposition, le mercure dit «actif» débute son cycle dans l'environnement lorsqu'il quitte cet état stable, à travers des processus naturels ou des interventions de nature humaines.

De nombreux débats ont eu lieu au Canada en regard de la contribution relative du mercure de source naturelle par rapport aux émissions dans l'environnement dues à l'activité humaine. Un des principaux défis que pose ce débat est l'absence d'information exacte sur les niveaux d'émissions de mercure actuels et passés, et le manque d'outils appropriés afin de permettre la distinction entre ces deux sources. Les scientifiques ont déterminé, à partir de mesures des concentrations de mercure dans les sédiments, que les niveaux de mercure dans l'environnement sont aujourd'hui au moins le double de ce qu'ils étaient avant l'ère préindustrielle. D'autres mesures des niveaux de mercure dans l'atmosphère suggèrent que cette augmentation se poursuit au rythme de un pour cent par année. Ces évidences ont amené la communauté scientifique à conclure que la moitié ou plus du mercure actuellement dans le cycle environnemental atmosphérique provient des activités humaines.

La capacité exhibée par le mercure de circuler dans l'environnement selon un cycle de déposition-réémission vers l'atmosphère (phénomène nommé « saut de grenouille ») rend également difficile la distinction entre ce qui est de source naturelle et ce qui provient des activités humaines.

#### **A - Les sources naturelles de mercure:**

Le mercure peut se retrouver partout dans l'environnement; dans les pierres, les plantes les animaux, l'eau et l'air.

Bien que les émissions naturelles se produisent principalement sous forme de vapeurs de mercure élémentaire ( $Hg^0$ ), des particules et des vapeurs d'oxydes, de sulfures, d'halogénures ainsi que des vapeurs de méthylmercure peuvent également être émises.

- Le mercure de la croûte terrestre peut être relâché lors d'éruptions volcaniques ( en moyenne, 1 000 t/an), Les roches de la surface, par érosion, libèrent environ 600 t/an.

- Le mercure dans le sol peut être absorbé par les racines des arbres, et être émis dans l'atmosphère lors d'un feu de forêt.
- L'océan est un important foyer de mouvements du mercure, relâchant quelquefois, depuis les fonds océaniques, du mercure qui y a été jeté ou déposé suite à l'activité humaine. ( Les océans contiendraient 300 milliards de t de mercure, à 99 % dans les sédiments marins. Ils libéreraient dans l'atmosphère 800 à 1 000 t/an ).(D'après le PNUE)

Aujourd'hui par contre, les fuites des océans s'élèvent jusqu'à environ 2 000 tonnes en raison de la rémission de dépôts de mercure attribuables aux activités humaines .

### **B - Le mercure d'origine anthropique:**

les Sources anthropiques représentent 30 % des émissions totales dans l'air.

Il existe **deux principales façons** de catégoriser les émissions de mercure attribuable à l'intervention humaine :

- La première catégorie, nommée « émissions accidentelles », est consécutive à une activité industrielle qui n'implique pas l'utilisation directe du mercure.  
Puisque le mercure se retrouve naturellement dans les roches, le charbon et l'huile, il sera relâché dans l'environnement lorsque ces substances sont transformées à des fins industrielles. La combustion de charbon, le raffinage de métaux (principalement le cuivre et le nickel), la production d'acier sont des exemples de cette catégorie d'émission.
- Une seconde catégorie d'émissions de mercure se définit comme étant consécutive à l'utilisation délibérée de ce polluant lors de la production de biens de consommation. Dans ce cas, le mercure est soit émit pendant le procédé de fabrication, soit lors de la mise au rebut d'objets contenant du mercure. Les interrupteurs électriques (incluant ceux utilisés dans les camions et véhicules automobiles), les thermostats, les amalgames dentaires, les thermomètres, et les lampes à vapeurs de mercure, sont autant d'exemples d'usages délibérés du mercure ayant toujours cours à travers le monde.

## CHAPITRE I: GENERALITE

---

En 2010, les émissions, dans l'air, de mercure liées aux activités humaines sont estimées à 1 960 t, avec la répartition suivante :

**Tableau 2:** les émissions anthropiques de mercure dans l'air (Source : UNEP)

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| Orpillage               | 37% |
| Combustibles fossiles   | 25% |
| Élaboration de métaux   | 18% |
| Production de ciment    | 9%  |
| Incinération de déchets | 5%  |
| Industrie du diChlore   | 1%  |

- Parmi les combustibles fossiles, le charbon représente l'essentiel des émissions (24 %), le pétrole et le gaz naturel 1 %.
- Chaque année, dans le monde, 3,6 t de mercure provenant des amalgames dentaires sont rejetées dans l'atmosphère par les crémations.
- Les émissions industrielles sont principalement liées aux industries des ciments (le calcaire contient de 0,02 à 2,3 ppm de mercure) et du dichlore. Dans l'industrie du dichlore le mercure est utilisé comme électrode, Le réactions entraîneront un dégagement d'une partie de mercure dans l'air .
- Les émissions liées aux activités humaines proviendraient, en 2010, à 40 % d'Asie de l'Est et de Sud-Est, , 17 % d'Afrique, 12,5 % d'Amérique du Sud, 8 % d'Asie du Sud, 6 % de Russie et d'Europe de l'Est, 4,5 % de l'Union européenne, 3 % d'Amérique du Nord. Les émissions d'Amérique du Sud et d'Afrique proviennent principalement des activités artisanales d'orpillage.

En octobre 2013, a été adopté la [Convention de Minamata](#) sur le mercure destinée à limiter ses rejets dans l'environnement. Elle prévoit, en particulier, l'abandon de toute production de dichlore à l'aide d'une électrolyse à cathode de mercure, en 2025, l'abandon de la fabrication de baromètres et thermomètres contenant du mercure, en 2020, l'abandon de la fabrication d'acétaldéhyde utilisant des catalyseurs à base de mercure, en 2018.

### **I - Le district minier d'Azzaba (Skikda) :**



**Figure 3 :** Carte de la situation géographique du district mercuriel d'Azzaba

#### **1-Cadre géographique :**

La dépression de Azzaba est une plaine peu ravinée, large de 8 Km au maximum, elle se situe dans la zone mercurielle Nord numidique, Nord Est Algérien.

Administrativement la région faite partie de la wilaya de Skikda (Fig3) elle se trouve à 80 km au Nord-Est de Constantine, à 70 Km au Sud-Ouest de Annaba et à 32 Km au Sud-Est de Skikda.

Le district minier est subdivisé en deux champs miniers (figure 4):

**1-** Celui d'Ismail situé au sud ouest de la ville d'Azzaba, comprend les gisements suivants :

- Ismail localisé à 7Km au sud-ouest de la ville,
- Guenicha qui se trouve à 4Km au sud-ouest de la ville et à 2 Km au nord est de l'usine,
- Gisements Ras El Ma
- Le complexe mercuriel est à 5Km au sud ouest de la ville,

## CHAPITRE II: LE DISTRICT MERCURIEL AZZABA

2- Quant au champ de Mra sma, il est situé au sud est de la ville, il comprend à son tour:

- Mra Sma I, Mra Sma II, qui se trouvent à 3 Km au sud de la ville,
- Et enfin Koudiet Sma,

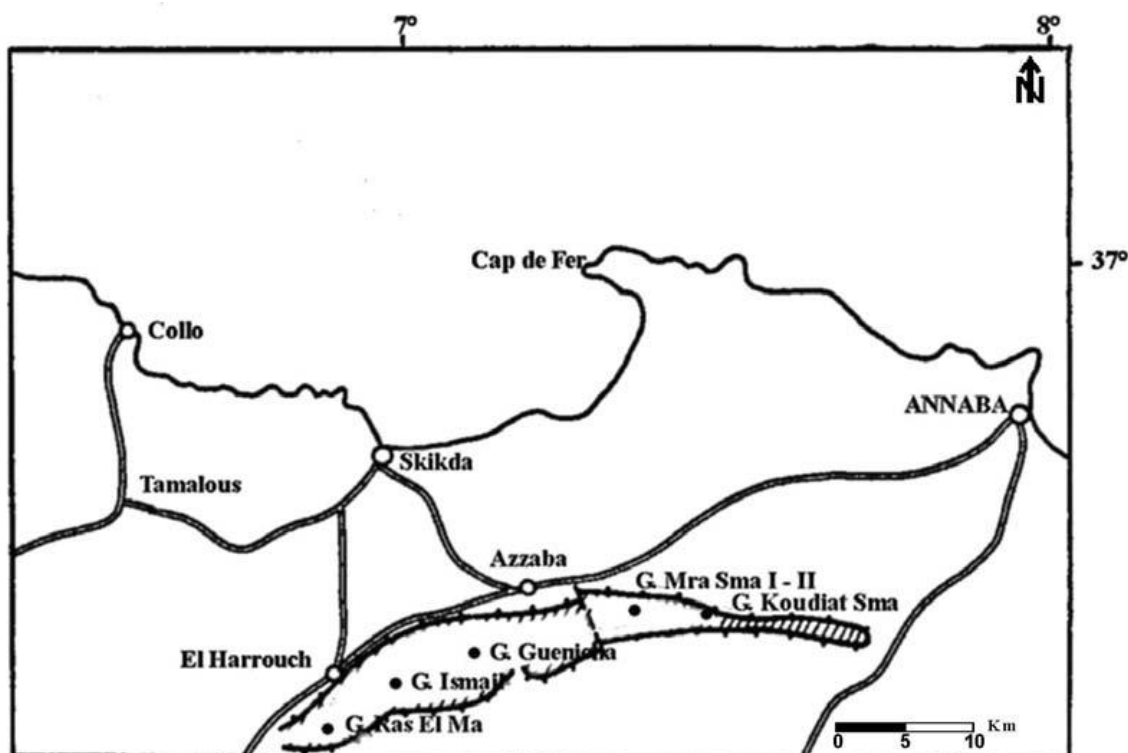


Figure 4 : localisation géographique des champs miniers du district minier de Azzaba

### 2-Historique :

En Algérie, les minéralisations mercurielles sont connues depuis l'époque romaine ; des vestiges d'extraction de cinabre ont été retrouvés à Grayer (Azzaba) dans la chaîne nord numidique, qui a fait l'objet de plusieurs enquêtes.

En 1853, le gisement de Ras el Maa a été mis en évidence, les travaux d'exploitation sur ce gisement ont duré pour plus d'un siècle, mais ont été des plus irréguliers à cause de la notion de rentabilité.

De 1932 à 1937 P. Deleau établit le premier levé géologique au 1/50 000 de la région.

## CHAPITRE II: LE DISTRICT MERCURIEL AZZABA

---

En 1966, une équipe de recherche de la SONAREM (société national de la recherche minière) a commencé une prospection dans les terrains nord numidiques, qui a aboutit en 1969 à la découverte des gisements les plus importants d'Ismail et de Guenicha ;

En 1970, le complexe mercuriel d'Ismail a été installé par l'ENOF et qui a été un producteur important de mercure pendant plus de trente ans ; sa capacité de production a été au tour de 7000-8000 **potiches** (200 à 230t/an) ( une potiche = bouteille de 34.5 kg de mercure pur), elle est passé a 23000 potiches en 1984, mais elle est resté en dessous de son pic ( 31000 potiches qui a été enregistré en 1970) ;

La production a été arrêtée au cours de la seconde moitié de 2003 pour quelque mois afin de réhabiliter l'équipement de la mine et du complexe, ainsi que le renforcement du travail minier en vue de relancer la production en janvier 2005, mais suite à l'inondation des mines par les eaux sous terraines et l'échec des travaux de pompage , et aussi les plaintes portaient par les citoyens à cause des problèmes environnementaux et les maladies liées à la production du mercure , la fermeture du complexe a été annoncée officiellement en mai 2006.

En fin 2006, le ministre de l'environnement suite à une visite effectuée sur le site a décidé de prendre en charge les travaux de dépollution, de ce fait des études ont été réalisées en collaboration avec la société française **GenCos** afin d'entamer des travaux de dépollution prochainement.

### **3- Traitement et production :**

Le mercure natif dans la nature est très rare, il est associé le plus souvent à d'autres éléments et forme plusieurs minéraux, dont le cinabre (HgS) est le principal minerai de mercure, composé par un atome de mercure (Hg) et un autre de soufre (S) liée par une liaison covalente.

Alors pour briser cette liaison et avoir le mercure comme élément pur, un traitement technique est nécessaire, de ce fait nous allons prendre l'exemple de l'usine de traitement d'Azzaba.



## CHAPITRE II: LE DISTRICT MERCURIEL AZZABA

---

L'usine est conçue pour le traitement de minerai (cinabre) en suivant les étapes suivantes

**Une Trie et une sélection des meilleurs teneurs:** Au niveau de la carrière, le minerai est extrait et classé par le géologue selon sa teneur Hg en trois types :

- Minerai pauvre 0,8 à 1,2% en Hg
- Minerai moyen 1,2 à 2% en Hg
- Minerai riche > 2% en Hg

Après, il est transporté à l'usine ou il suit le reste de traitement selon son type :

Il est stocké dans des différentes trémies :

- 1<sup>ère</sup> trémie pour le four n°1 (minerai moyen)
- 2<sup>ème</sup> trémie pour le four n°2 (minerai pauvre)
- 3<sup>ème</sup> trémie pour le four n°3 (minerai riche)

**Un Concassage :** Le tout venant passe à travers des grilles afin de retenir les hors gabarit, puis il subit un broyage dont la granulométrie est :

- 0,60mm pour le minerai pauvre
- 0,40mm pour le minerai moyen

### **Une Calcination :**

Le minerai concassé est transporté dans des bandes vers les fours où il subit une calcination qui varie entre 600° et 800°C et dure entre 40mn et 1h .

A la fin de la calcination, le résidu solide grillé retombe à 600°C dans la trémie des scories, qui va être transporté vers les digues à stérile.

Concernant les gaz, en sortant à une température de 400°C, on les appellent les gaz technologiques, ils contiennent la vapeur de mercure, divers gaz et des poussières.

## CHAPITRE II: LE DISTRICT MERCURIEL AZZABA

---

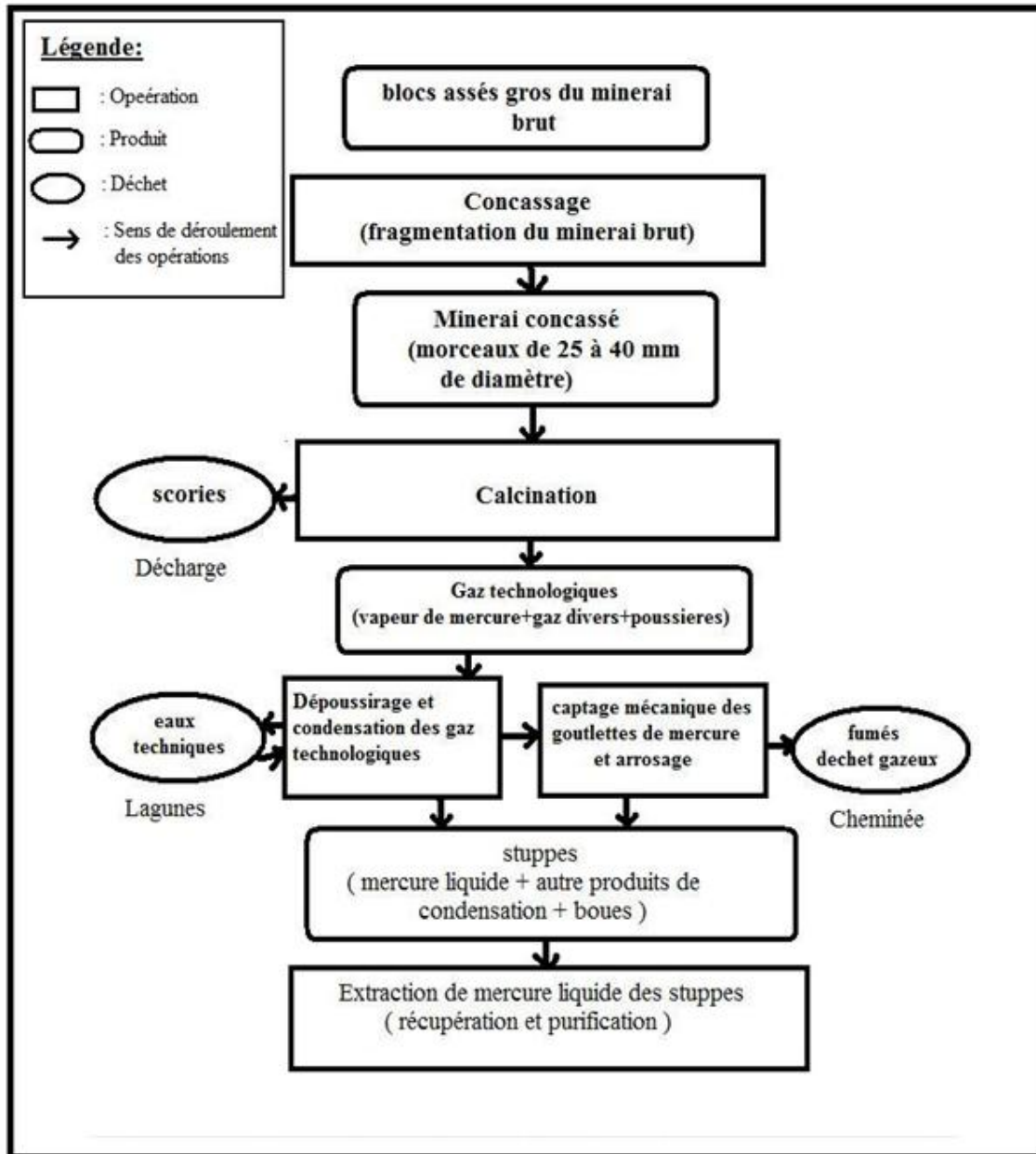
### **Dépoussiérage et condensation :**

les gaz technologiques sont aspirés par un ventilateur qui se retrouve en fin de cycle, une fois aspiré les gaz vont dans les batteries à cyclones, les particules tourbillonnent à l'intérieur et les lourdes tombent dans des bacs à eau ou elles vont être barbotées et transportées vers les lagunes.

les particules légères qui échappent au cyclone continue avec le circuit des gaz dans les condenseurs, qui va permettre un refroidissement des vapeurs et engendre la précipitation des gouttelettes de mercure plus quelque particules fines dans des auges pleine d'eau, le tout est appelé stuppes. Les gaz qui échappent au condenseur, on les barbote dans un Scrubber plein d'eau, et le reste des gaz passe par une cheminée d'une longueur de 118 mètres, tout ceci pour assurer une meilleur récupération de mercure et assurer la dépollution des gaz rejetés.

### **Extraction de mercure :**

On utilisant la pompe à mercure, on récupère les stuppes dans un bac cylindrique à fond conique muni d'un arbre et des ailettes qui brassent la boue chargées de mercure, ensuite grâce à son poids spécifique, le mercure tombe au fond de telle façon à ce qu'on récupère le mercure brute et le reste est évacué vers les digues



**Figure 5:** Schéma simplifié de la chaîne technologique de traitement du complexe Mercuriel d'Ismail

# **I- GEOLOGIE :**

## **1- GEOLOGIE REGIONALE :**

La chaîne numidique correspond à un édifice faisant partie du domaine interne et en partie externe de la chaîne littorale des Maghrébides.

Le district mercuriel d'Azzaba fait partie de cette chaîne, il forme une bande de 24 Km de longueur sur 2,5 Km de largeur qui s'allonge de l'indice de Ben Arada à l'ouest jusqu'à l'oued Charchar à l'Est.

La géologie de la région est caractérisée par la présence de formations d'âges variés, elles se regroupent en certain nombre d'ensemble structuraux, allant du domaine interne au domaine externe : (figure6)

### **A- Domaine interne, il est constitué de :**

**Un complexe métamorphique** appartenant au socle kabyle d'âge paléozoïque composé essentiellement par des gneiss à intercalation marneuse et des schistes satinés ;

**La dorsale kabyle ou chaîne calcaire** d'âge allant du Permo-Trias jusqu'à l'Eocène, elle marque la limite entre le domaine interne et le domaine externe, elle peut être subdivisée en trois unités majeurs (J. F. Raoult, 1968), en fonction de leur positions paléogéographique par rapport au socle kabyle : dorsale externe – dorsale interne – dorsale médiane.

La chaîne calcaire est constituée principalement par des calcaires massifs, rouges (médians), des dolomies, des marnes, des grés et des pélites schisteuses.

### **B- Domaine externe, il est constitué de :**

- **Un complexe** composé de flysch Maurétanéen d'âge Malm à Lutétien et de flysch massylien d'âge Crétacé, ainsi que des formations oligocène à caractères flysch. Le tout présente une lithologie qui varie entre : séries micritiques, des argiles, des conglomérats, des radiolarites, des calcaires fins avec des intercalations micro bréchiqes et d'autre surmontée par des grés fins.

## CHAPITRE III : GEOLOGIE

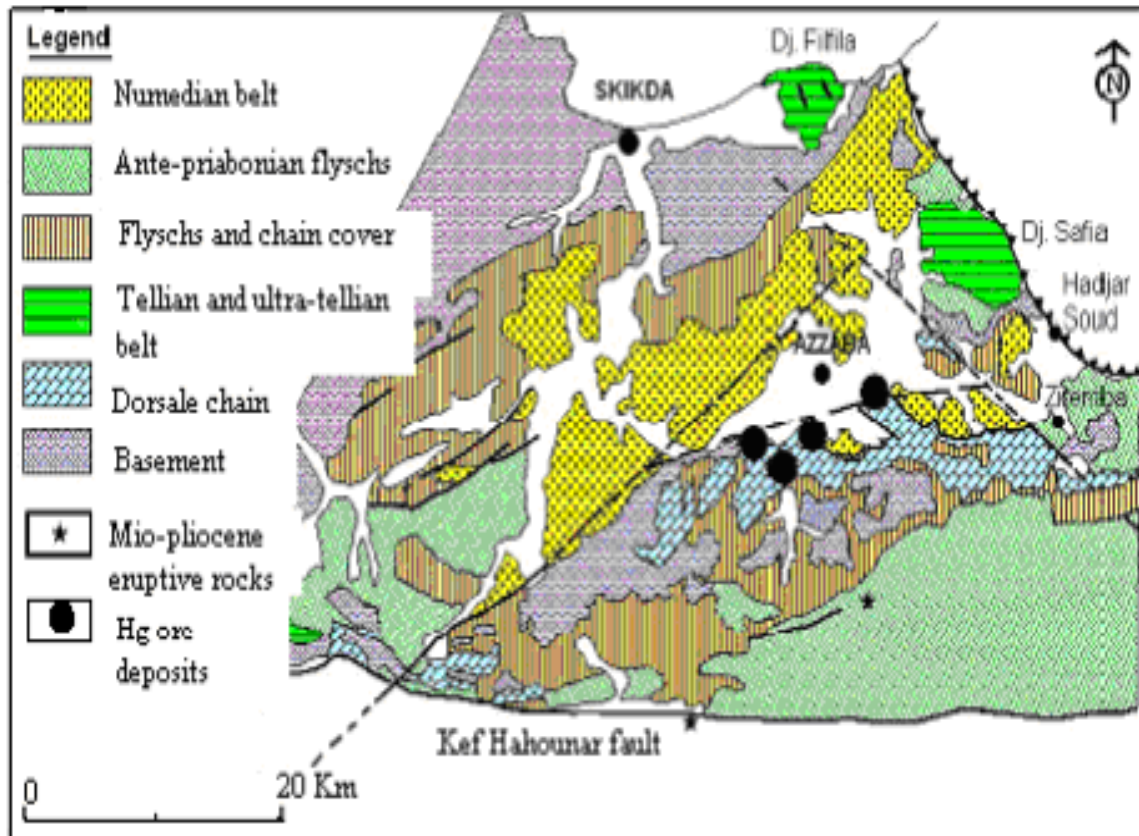
---

- Et enfin le **Quaternaire** composé d'alluvions (limons, argile sableux, sable) et des tufs calcaire Selon les travaux de Bouaroudj (1986), le district mercuriel est limité dans sa partie occidentale par la faille d'EL Kantour orienté NE-SW, et dans sa partie NE par la faille de Zit Enba.

Les études faites sur la chaîne numidique ont montré que l'édifice structural est le résultat de la superposition de quatre phases tectoniques (Vila, 1980) :

- **Tectonique priabonienne** : c'est une phase de convergence, elle a permis le chevauchement des unités de la dorsale interne et médiane sur la dorsale externe, elle est responsable de la genèse des nappes telliennes et des nappes des flyschs.
- **Tectonique burdigalienne** : elle a conduit à la formation de nombreuses failles et plis d'axe NE-SW et ENE-WSW, elle est également à l'origine du charriage de l'ensemble dorsale kabyle - flysch maurétanien sur le flysch massylien.
- **Tectonique tortonienne** : c'est une phase compressive, marquée par des déplacements tangentiels d'unités allochtones notamment le Numidien au début du Tortonien et également par des plissements orientés NE-SW dans le numidien.
- **Tectonique récente** : il s'agit d'une phase compressive orientée N-S, elle a comme conséquence des plissements de direction E-W suivit de déformations cassantes et qui ont rejoué en décrochement NE-SW et NW-SE.

L'hydrogéologie de la région est caractérisée par deux nappes aquifères. La nappe phréatique oligocène ou les roches aquifères sont les grés fissurés alternants avec des lits d'argiles et la nappe profonde paléocène-éocène largement développée dans la région et où les eaux souterraines circulent au niveau des grés, calcaires, conglomérats, brèches, calcaires caverneux fissurés et des grés calcareux du paléocène ; ces deux nappes sont séparées par des roches imperméables du Paléozoïque et du Lutétien-Priabonien (Benhamza, 1996)



**Figure 6** : carte structurale de la ceinture numidienne centrale et orientale  
(Vila, 1980; Bouarroudj, 1986)

### **II- GEOLOGIE LOCALE :**

Les gisements de mercure de la zone d'étude occupent une position géologique déterminée et sont regroupés en deux champs miniers. Le premier à Ismail regroupant les trois gisements (Ras el ma, Ismail, et Guenicha) ayant pour horizon porteur de la minéralisation mercurielle, les conglomérats brèches calcaires de l'yprésien-Lutétien. Le second est Mra ma constitué par les gisements (Mra sma I, Mra sma II et Koudiet Sma) ayant pour horizon porteur de la minéralisation les pseudos brèches calcaire du Campanien et les grés du Néocomien (Bouaroudj, 1986; Mezghache, 1989).

#### **A- Stratigraphie :** (figure 7 et 8)

**Paléozoïque :** les roches métamorphiques du Paléozoïque d'après J.F.Raoult (1966) et J.M.Vila (1969) sont représentées par des schistes quartzeux chloriteux et à séricite ; elles forment la nappe Kabyle qui affleurent en fenêtres d'érosion au niveau de la carrière de Mra sma I et II

**Trias :** caractérisé à :

- Mra sma : par un faisceau d'argilite de couleur rouge ;
- Guenicha : par des alternances grossières de grés et de calcaire ;
- Ismail : par des grés rouge et des calcaires marneux verdâtres et des grés quartzeux rosâtres qui s'alternent avec des argilites.

**Jurassique :** il est absent à Ismail, sinon à Mra sma il a été mis en évidence par sondage (SONAREM) et il présente une série de roches carbonatées rapportées à la zone de la chaîne calcaire (J. M. Vila et J. F. Raoult (1969)).

**Crétacé :**

**Néocomien :** formé par des conglomérats et des grés quartzeux, des marnes et des pelites grises ; à Guenicha, il est représenté par des calcaires marneux de couleur gris verdâtre, il renferme la majeure partie des minerais ;

**Campanien :** correspond à un conglomérat mal classé, qui repose en discordance angulaire sur le néocomien ; il est représenté par

## CHAPITRE III : GEOLOGIE

unconglomérat à galets de calcaire, des calcaires grise, des grés quartzique et des dolomies noires.

### Paléogène :

**Eocène (Yprésien-Lutétien-Priabonien) :** représenté principalement par des conglomérats et brèches calcaires (de couleur beige, composé de quartz et cimenté par le calcaire), des calcaire gréseux en banc lités accompagné par une série plissée à prédominance de fine siltite intercalée par des niveaux centimétriques marno-calcaire , calcaire argileux et des micro brèches calcaire ; ce niveau la comporte une grande de réserve de mercure (SONAREM, 1980).

**Oligocène :** représenté par la nappe numidienne à Guenicha, sa lithologie est composée par des argiles bariolées et des grés quartzeux gris clairs

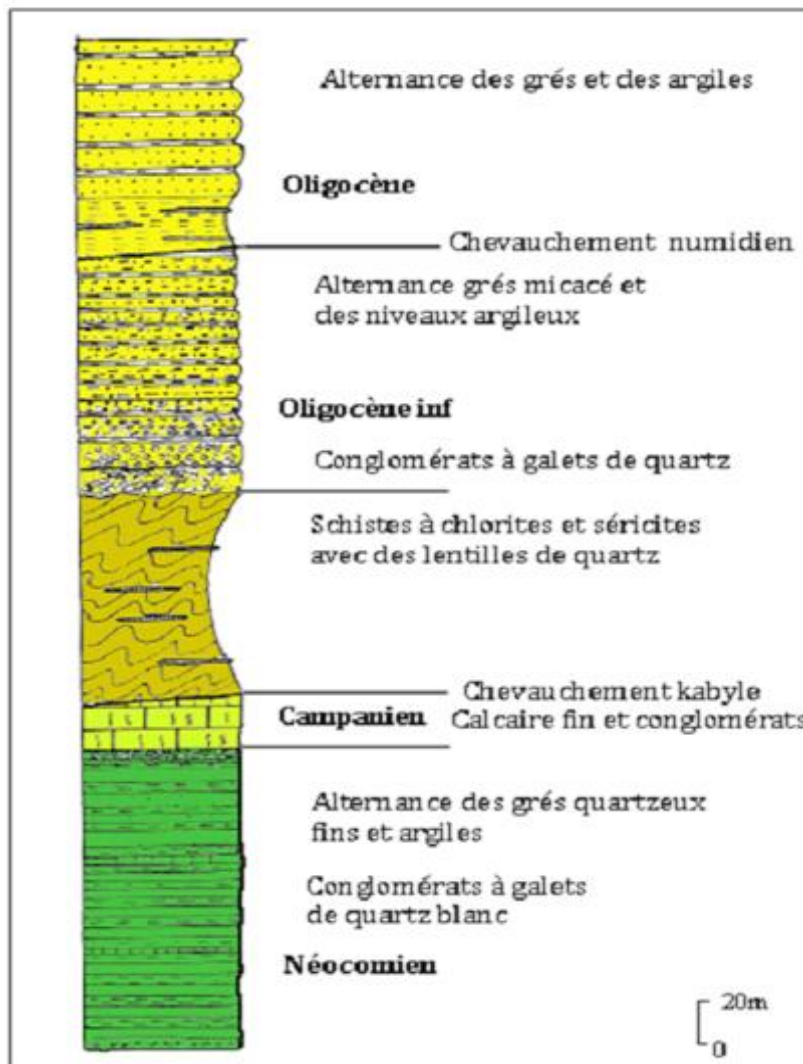


Figure 7: log stratigraphique du champ minier de Mrasma



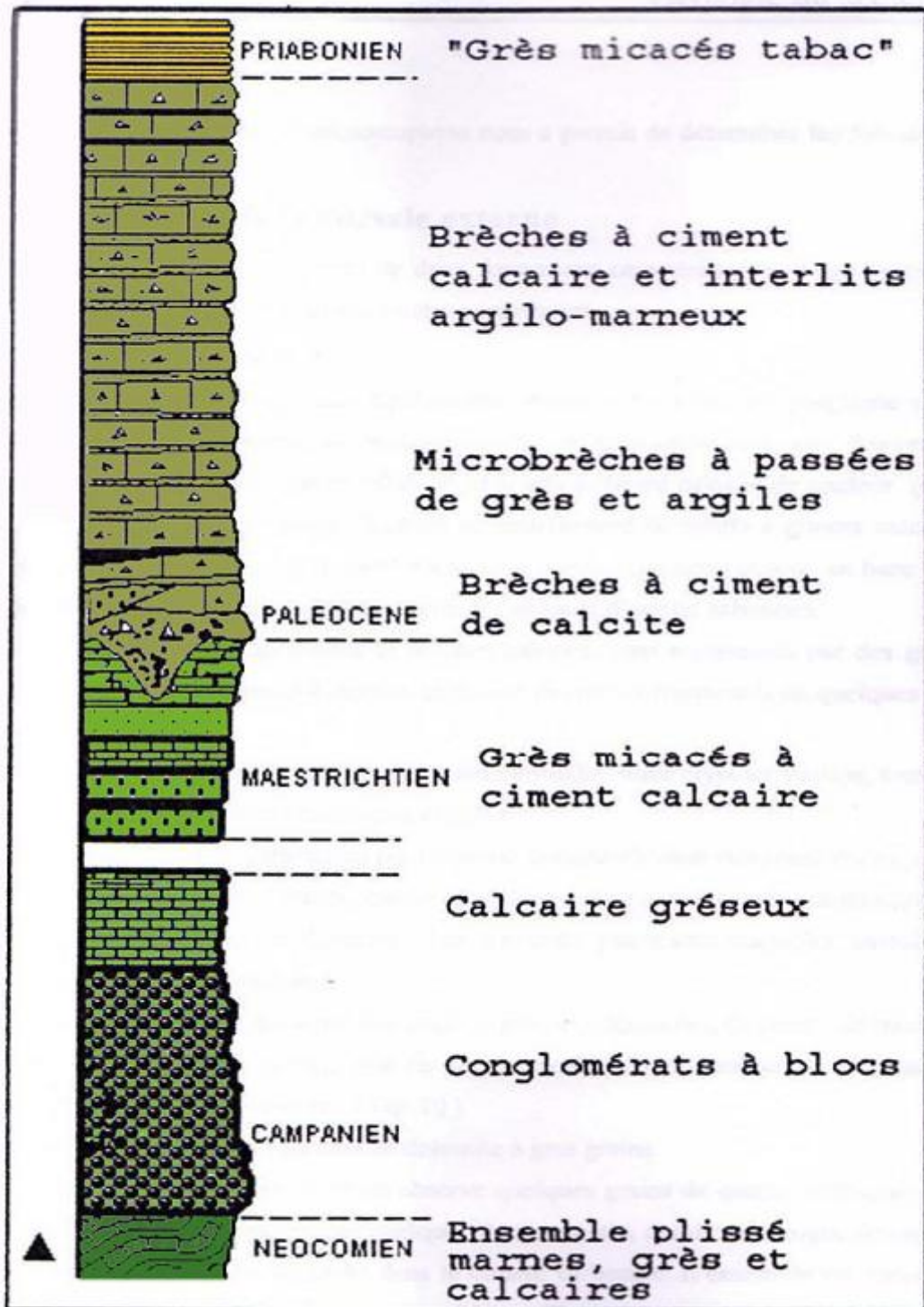


Figure 8: log stratigraphique de la carrière d'Ismail

### **B-Tectonique :**

La tectonique dans la zone d'étude apparait sous les aspects suivant :

- **Tectonique souple :** les structures plissées se manifestent généralement dans les formations de la dorsale et à un moindre degré dans les formations de nappes. Elles consistent en des plis d'ordre centimétrique à hectométrique.
- **Tectonique cassante :** les deux champs miniers sont affectés par un grand nombre de fractures qui sont peu développées et ont un fort pendage.

A Guenicha, selon les travaux antérieurs, les fractures sont généralement inverses ou décrochantes senestres, ce gisement est affecté par deux failles principales, ce sont la faille de Saiafa et Mra sma, elles sont verticales à sub verticales caractérisées par des rejets horizontaux de l'ordre de 3000m (Mra sma) et 500m (Saiafa) et un mouvement apparent senestre avec une direction NW-SE à NS.

Sinon pour la carrière de Mra sma, les fractures sont pour la plupart des failles normales, elle est affecté principalement par la faille de Grayer de direction N-S et un pendage 80° W, cette faille normale met en contact le Néocomien et le Campanien et décolle le chevauchement numidien sur plus de 20 mètres.

- **Les chevauchements :** selon (Raoult 1980, Vila 1986, Tchekovith, et Merracov, 1971), la complexité structurale de la région est due à l'existence de contacts anormaux de grandes ampleurs qui sont le chevauchement d'Ismail et le chevauchement numidien ; le plus important est celui d'Ismail, ou il exerce une influence certaine sur la localisation de la minéralisation mercurielle, en jouant le rôle d'écran ; le chevauchement numidien est caractérisé par son faible étendue, et il n'exerce aucune influence sur la minéralisation.

### **III - ETUDE GITOLOGIQUE :**

La totalité des gisements mercuriels exploités à Azzaba se subdivisent en deux champs miniers :

- Champ minier d'Ismail (Ismail – Guenicha – Ras el maa) ;
- Champ minier de Mra sma (Mra sma I , Mra sma II , Koudiet sma)

La minéralisation mercurielle est exprimée sous forme de cinabre, dont elle est associée à une autre minéralisation polymétallique constitué de galène, sphalérite, chalcoppyrite, pyrite, il existe de nombreux minéraux d'altération tels que : la malachite, l'azurite, oxyde et hydroxyde de fer , la gangue est composé de barytine, quartz, calcite, dolomite, gypse et kaolinite ;

Cette minéralisation est encaissé dans des formations carbonatées et gréseuses, elle se présente généralement en amas lenticulaires ; la méthode d'exploitation dans tous les gisements est à ciel ouvert.

#### **A- Description de la minéralisation :**

Le corps minéralisé se présente sous plusieurs formes mais dans la plupart des cas, il est en amas .

- **Ismail** : selon MENAKOV et al (1977), le corps minéralisé est stratiforme de dimension moyennes : longueur 520m, largeur : 60m, puissance :64m), il forme deux amas lenticulaires.
- **Guenicha** comprend trois corps minéralisés dont les corps 2 et 3 font partie d'un seul grand amas mesurant 540m de long.
- **Mra sma I, II** : le corps est sous forme de poches irrégulières, 19m de longueur et 3 à 4m de puissance), apparait en fine dissémination avec une allure stratoïde, parfois en filon de longueur métrique et largeur centimétrique à décimétrique.

## CHAPITRE III : GEOLOGIE

---

Dans la région d'étude, les textures du minerai montrent deux aspects différents qui sont : le minerai friable et le minerai compact (Rapport, A. MENAKOV, J. TITOV, T. ZAMALEDINOV, G. MENAKOV, Base© SKIKDA, 1977) ; ces deux types se distinguent par rapport à la roche qui les encaisse :

- **Minerai friable (pulvérulent)** : se présente sous forme de débris, de grains isolés anguleux et arrondie, il est associé aux roches encaissantes suivantes : argiles, argilites, dolomites.
- **Minerai compact** : il se présente en amas et en dissémination associés aux roches sédimentaires suivantes : grés quartzites, calcaire détritique.

### **B- Composition minéralogique :**

L'étude macroscopique et microscopique nous a permis d'identifier les minéraux suivant, et établir leur succession paragénétique :

#### **1. Les minéraux primaires :**

- **Cinabre (HgS, rhomboédrique)** : (figure 9,10) c'est le principal minéral du gisement, se distingue par sa couleur rouge brun terreux, présente souvent deux générations :
  - À Ismail, on le trouve sous forme de petites masses granulaires de couleur rouge foncée, à forme irrégulière (Guenicha), ou en veinules ou ciment des brèches, en dissémination dans les grés priaboniens (Ismail);
  - À Mra sma, il forme des enduits et des filonets remplissant les fissures fines dans les grés et les quartzites ;

Au microscope, en lumière polarisé il présente une anisotropie nette avec des réflexions internes rouges massives.

- **Métacinabre (HgS, cubique)** : se présente sous forme de petits grains isométriques noirs, forme des agrégats et des enduits suivants les parois des fissures, parfois en imprégnations dans les roches encaissantes, il est toujours en association avec le cinabre.

## CHAPITRE III : GEOLOGIE

---

Au microscope, il est de couleur blanc gris avec un pouvoir réflecteur plus faible que celui du cinabre, il est isotrope en lumière polarisé.

- **Galène (PbS)** : caractérise le champ minier de Mra sma, elle se présente en deux forme : en petits cristaux irrégulièrement répartis dans les minerais de mercure, ou en imprégnation et groupement de cristaux ;

Microscopiquement, elle présente une couleur grise dont elle est caractérisée par des arrachements triangulaires.

- **Sphalérite (ZnS)** : se présente en grains sub-automorphes, avec des dimensions de l'ordre du millimètre, elle apparait sous forme d'imprégnations de petits cristaux de couleur grisâtre, présente des réflexions interne rouges sombres.
- **Pyrite (FeS<sub>2</sub>)** : elle se présente sous forme de petits grains de formes isométriques, de couleur jaune claire, on le trouve aussi en fine dissémination dans la gangue silicifiée
- **Chalcopyrite** : elle est plus rarement rencontrée par rapport aux autres minéraux, souvent elle est disséminée dans la gangue.

### 2. Les minéraux secondaires :

- **Malachite** : minéral secondaire due à l'altération de la chalcopyrite, sa couleur est verdâtre à éclat vitreux, se présente souvent sous forme de fines pellicules dans les filons de barytine.
- **Azurite** : moins abondante, se présente en grande plage xénomorphe baignant dans la gangue silicifiée.
- **Oxyde et hydroxyde de fer** : représenté par l'hématite, goethite, limonite, ils se rencontrent en imprégnation dans la roche encaissante ou en remplissage dans les cavités de dissolution, les oxydes soulignent les épontes des veinules de calcite.

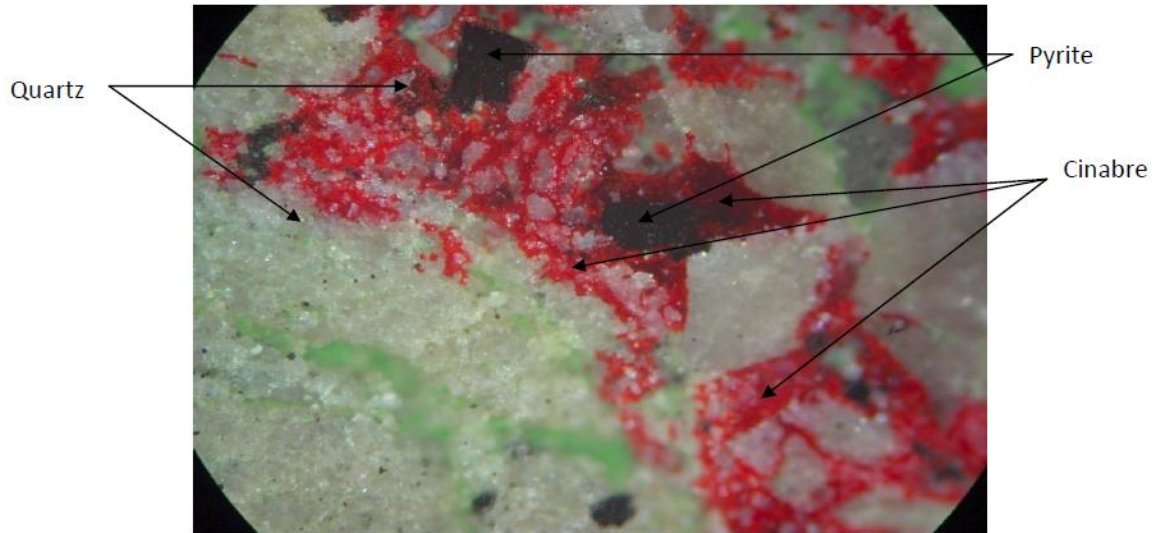
## CHAPITRE III : GEOLOGIE

---

- **Soufre natif** : se présente sous forme de grains jaune-verdâtre, se rencontre dans la zone d'oxydation du minerai mercuro-polymétallique.

### 3. Les minéraux de gangue :

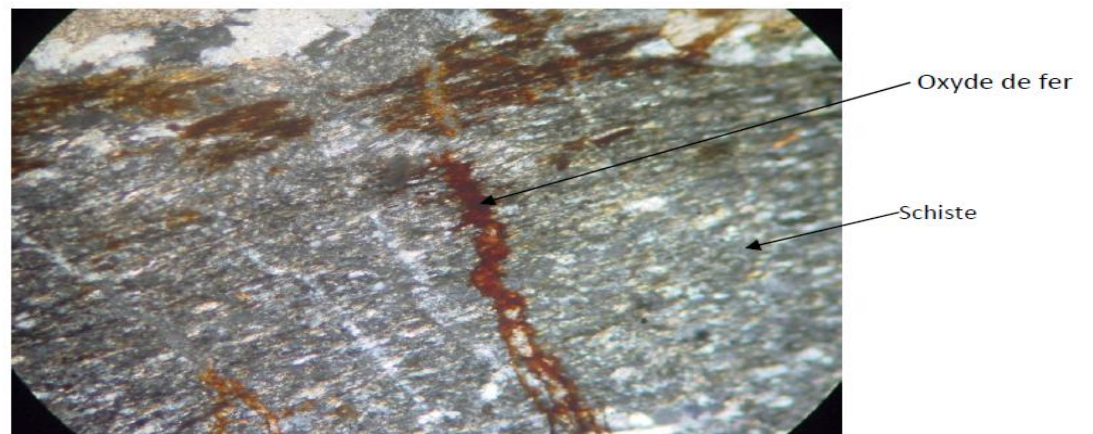
- **La calcite ( $\text{CaCO}_3$ )** : elle constitue le minéral le plus fréquent, elle se présente sous différentes formes, elle se présente dans le corps de minerai en petites veinules de couleur variable, parfois elle développe de gros cristaux rhomboédriques.
- **Quartz** : s'observe fréquemment à l'affleurement, aisément reconnaissable à l'œil nu, présente plusieurs générations et plusieurs formes (géode, veinule, masse compacte, en gros cristaux bien cristallisés).
- **La dolomite** moins répandue que les autres minéraux de gangue, apparaît sous forme de petits cristaux losangiques, diffus dans le ciment carbonaté, comme on peut la trouver en gros cristaux losangiques dans les vides interstitiels et les fissures de grains de quartz.
- **Barytine** très répandue dans le gisement de Mra sma et très rare dans le gisement d'Ismail ; se présente sous forme de cristaux aciculaires aplatis souvent groupés en masses lamellaires massives dans la gangue du filon métallifère, elle présente une forte densité 4,5.
- **Kaolinite** : c'est un minéral à structure cryptocristalline de couleur blanche à grise, elle se rencontre dans les vacuoles et dans les vides intra granulaires, parfois en petits veines discontinues recoupant les filonets de cinabre.
- **Le gypse** : de couleur blanche transparente, se présente sous forme lamellaire et fibreuse, très abondant et renferme du cinabre.



**Figure 9:** section polie de cinabre disséminé dans la gangue silicifiée (ob×20, LP)



**Figure 10:** section polie de Veinule du cinabre recoupant la gangue silicifiée (ob×20, LP)



**Figure 11:** section polie de Veinule d'oxyde de fer recoupe l'encaissant schisteux (ob×20, LN)

### **C. Les textures :**

On marque trois textures très fréquentes dans le minéral :

- Texture disséminée : elle prédomine nettement par rapport aux autres, le minéral est sous forme de petits grains millimétriques ; cette texture est représentée souvent par des cristaux de cinabre et de pyrite.
  
- Texture bréchique : elle résulte du remplacement du ciment calcitique des brèches par le cinabre, elle se développe dans des brèches conglomératiques fortement broyées.
  
- Texture veinulée : observée dans les zones de fracture, dans les filonets de calcite et de dolomite, le cinabre occupe les épontes ou remplit toute la fracture.





**Figure 12:**Texture disséminée du cinabre



**Figure 13:** texture béchrique du cinabre



**Figure 14:** texture veinule du cinabre

## CHAPITRE III : GEOLOGIE

### **D- Succession paragénétique :**

L'étude des relations mutuelles existant entre les différents minéraux dans les deux champs, nous a permis de dresser la succession paragénétique suivante :

Dans les deux champs (Ismail-Mra sma), on marque une phase commune :

- **La phase diagénétique :** pendant cette phase a lieu le dépôt des minéraux de gangue tels que le quartz I, calcite, dolomite I, accompagné d'une pyrite I diagénétique.
- **La phase épigénétique :** cette phase est précédée par une mise en place de barytine et une première fracturation, font suite à une circulation de fluide qui déposent une minéralisation polymétallique (la pyrite II, la chalcoppyrite, la galène et la sphalérite) , cette dernière est suivie d'une fracturation (chevauchement kabyle), responsable de la minéralisation mercurielle mono minérale à cinabre et méta cinabre accompagnée de filon de barytine II et par la formation de deux générations de quartz (Qtz II et Qtz III), de dolomite II et III, calcite II, III et IV.
- **La phase supergène :** elle donne le mercure natif et les minéraux d'altération telle que : la malachite, l'Azurite, Oxyde et hydroxyde de Fe .

➤ **Tableau 3 :** Succession paragénétique

| Minéraux            | Phase<br>Diagénétique |          | Phase épigénétique |            |             |            | Phase<br>Supergène |
|---------------------|-----------------------|----------|--------------------|------------|-------------|------------|--------------------|
|                     |                       |          | Polymétallique     |            | Mercurielle |            |                    |
| Quartz              | <u>I</u>              |          | <u>II</u>          | <u>III</u> |             |            |                    |
| Barytine            |                       | <u>I</u> |                    |            |             | <u>II</u>  |                    |
| Calcite             | <u>I</u>              |          | <u>II</u>          | <u>III</u> |             | <u>IV</u>  |                    |
| Dolomite            | <u>I</u>              |          | <u>II</u>          |            |             | <u>III</u> |                    |
| Pyrite              |                       | <u>I</u> |                    | <u>II</u>  |             |            |                    |
| Chalcoppyrite       |                       |          |                    | —          |             |            |                    |
| Sphalérite          |                       |          |                    | —          |             |            |                    |
| Galène              |                       |          |                    | —          |             |            |                    |
| Cinabre             |                       |          |                    |            |             | <u>I</u>   | <u>II</u>          |
| Métacinabre         |                       |          |                    |            |             | —          |                    |
| Kaolinite           |                       |          |                    |            |             |            |                    |
| Azurite             |                       |          |                    |            |             |            | —                  |
| Malachite           |                       |          |                    |            |             |            | —                  |
| Oxyde               |                       |          |                    |            |             |            | —                  |
| Hydroxyde<br>de fer |                       |          |                    |            |             |            | —                  |

### **IV -HYDROGEOLOGIE:**

#### **A- Aperçu hydrogéologique de la zone mercurielle Nord numidique**

Dans la carte hydrogéologique schématique de la zone mercurielle Nord Numidique , on distingue plusieurs horizons aquifères à savoir :

- Le complexe aquifère formé principalement de roches carbonatées du Crétacé moyen - paléogène moyen, (Cr2Pg2) constitué de conglomérats brèches calcaire , de conglomérats , de grès et de calcaire. Ce premier horizon aquifère affleure dans la région de Fendek.
- Le complexe aquifère dans les roches terrigènes du Paléogène supérieur (Pg3), constitué de grès, argilites et argiles. Ce complexe est développé dans la chaîne numidique.
- Le complexe situé dans les formations d'Infra crétacé (Cr1), il est constitué principalement de marnes, de calcaires siliceux, d'aleurolites, de jaspes et de grès. Ce complexe affleure à l'Est de la région d'étude et au Sud Ouest.
- Le complexe des roches Permo-Triasiques (P-T), constitué de grès rouges, d'aleurolites, de rares dolomies et de calcaires. Ce complexe affleure dans notre terrain d'étude, près des gisements de mercure.

#### **B-Conditions hydrogéologiques du bassin versant de Azzaba**

Dans le terrain d'étude, on rencontre deux complexes aquifères ayant des charges piézométriques très proches : le complexe aquifère des dépôts de l'Oligocène et le complexe aquifère du Paléocène-Eocène. Ces deux complexes sont séparés par les roches imperméables du Paléozoïque et du Lutétien-Priabonien. Sur les terrains avoisinants, situés au NE, on trouve un autre horizon dans les alluvions récents.

##### **1- Horizon aquifère des dépôts alluvionnaires récents**

L'horizon aquifère des dépôts alluvionnaires récents et des terrasses situées au dessus de la plaine inondable de l'Oued Fendek à une extension limitée. Les eaux phréatiques comprises dans les sables hétéro grenus et au sein des dépôts de galets et des graviers ont un niveau libre. La puissance de la nappe varie de 2 à 5 m.

## CHAPITRE III : GEOLOGIE

---

Le niveau des eaux souterraines diminue en été jusqu'à la base des dépôts alluvionnaires, l'alimentation en eau de cet horizon aquifère se fait principalement par les précipitations atmosphériques.

### **2- Complexe aquifère des dépôts de l'Oligocène (g2)**

Les roches aquifères des dépôts de l'Oligocène sont les grès fissurés alternant avec des lits d'argiles. La puissance totale des grès varie entre 32 et 62 m. Les eaux souterraines s'écoulent vers le Nord.

Les eaux souterraines circulent aux profondeurs de 10,0 m à 44,0 m . Au fur et à mesure du plongement des couches au Nord et au nord-ouest, la profondeur de leur circulation descend jusqu'à 62 m . Les coupes hydrogéologiques établies illustrent la schématisation des nappes aquifères de la région (Coupes 1-1 / 2-2 / 3-3).

L'alimentation des eaux souterraines se fait par les précipitations atmosphériques dans les endroits où les grès affleurent et le drainage des eaux des horizons sous-jacents, qui circulent suivant les accidents tectoniques.

Le mur séparant la nappe aquifère de l'Oligocène de celle du Paléocène-Eocène est représenté par les schistes charbonneux du Paléozoïque, les argilites et les aleurolites du Lutétien-Priabonien. La puissance des roches imperméables est de l'ordre de 50-60 m. (Coupes 1-1 / 2-2 / 3-3).

### **3- Complexe aquifère des dépôts du Paléocène-Eocène e1-3**

Les eaux souterraines du gisement s'associent aux grès, aux calcaires, aux conglomérats-brèches de la zone sous-chevauchement, aux calcaires caverneux et fissurés, aux grès calcaireux du Paléocène, aux zones aquifères des accidents tectoniques.

Vu l'absence de murs imperméables, les horizons aquifères ont une liaison hydraulique étroite et forment un complexe aquifère uni des eaux de filons et de diaclases.

La puissance des roches aquifères varie en larges plages La profondeur de leur disposition augmente vers le Nord.

Le mur supérieur résistant à l'eau, est représenté par les schistes charbonneux graphiteux métamorphisés du Paléozoïque, ainsi que les argilites et les aleurolites du Lutétien-Priabonien. Leur puissance totale est de 50-60 m. La position du mur

## CHAPITRE III : GEOLOGIE

---

impermeable inférieur est contrôlée par l'amortissement de la fissuration des roches. (Coupes 1-1 / 2-2 / 3-3).

Pendant les travaux de prospection réalisés au gisement et les recherches de l'eau pour l'alimentation du complexe mercuriel, la plupart des sondages recoupant le complexe aquifère étaient jaillissants. Les sondages jaillissants se trouvent dans la partie Nord du gisement .

L'alimentation des eaux souterraines du complexe se fait par les précipitations atmosphériques. Ce type d'alimentation se situe dans la partie SW de la région, là où affleurent les roches du Paléocène-Eocène. Les grands accidents tectoniques affectant les formations du Paléocène-Eocène, jouent en conditions hydrogéologiques du complexe un rôle de drains naturels. Par ces derniers , les eaux souterraines sont drainées des terrains voisins. En s'enfonçant vers le Nord, les eaux souterraines s'accumulent dans des calcaires fissurés et karstiques et des grès calcaireux du Paléocène-Eocène.

La direction d'écoulement (le gradient hydraulique) des eaux souterraines au NNE et à l'Est coïncide avec la direction d'enfoncement des principales structures géologiques et à l'abaissement général du relief .

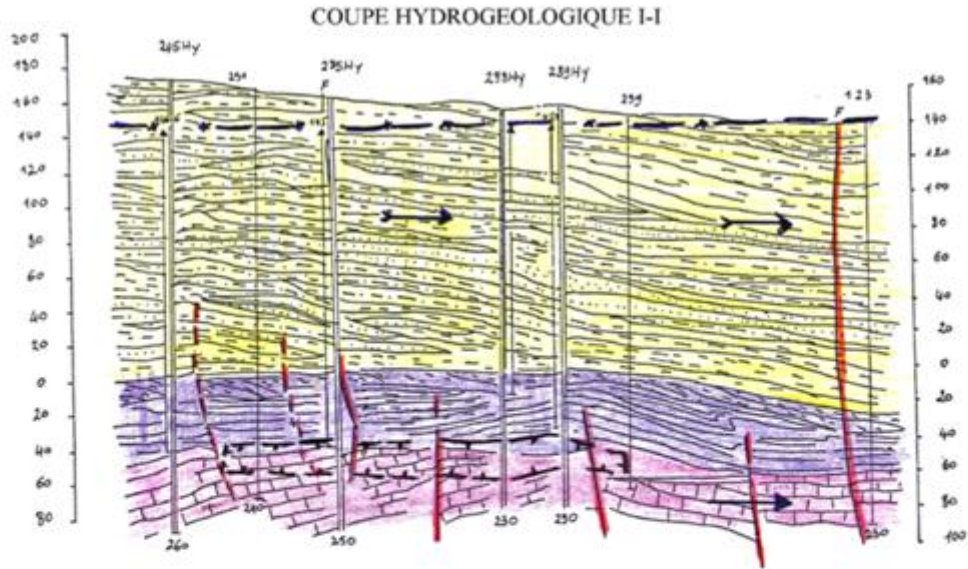
Le complexe aquifère des dépôts du Paléocène-Eocène prendra la principale part de la formation des venues d'eau dans les ouvrages miniers. Cette dernière est déterminée par les facteurs naturels suivants :

### 1- Hétérogénéité de la série des formations très disloquées du Paléocène-Eocène.

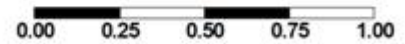
A côté des calcaires bien perméables, des conglomérats calcaireux, des conglomérats brèches, des grès, on trouve des aleurolites peu perméables. Dans de telles séries hétérogènes, la fissuration et la karstification se développent irrégulièrement. C'est avec ces deux dernières que sont étroitement liés la perméabilité de l'eau, la transmissivité, le coefficient de diffusivité et le coefficient d'emmagasinement.

2- complexité des conditions quant à la disposition structurale des calcaires, des grès, des conglomérats-brèches aquifères ; des rapports entre eux et avec les dépôts de l'Oligocène. Donc les principaux paramètres pour la prévision des venues d'eau sont les paramètres obtenus à la suite du pompage de faisceau. Ils reflètent amplement la situation hydrodynamique de tout le massif.

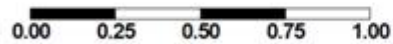
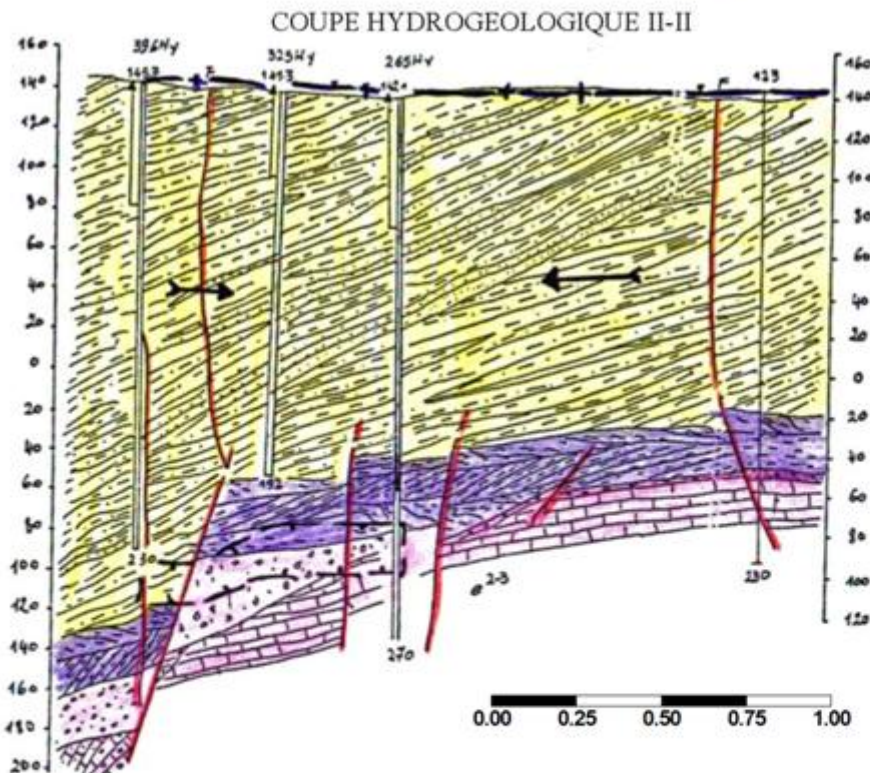
# CHAPITRE III : GEOLOGIE



D'après BENHAMZA Moussa (1996).



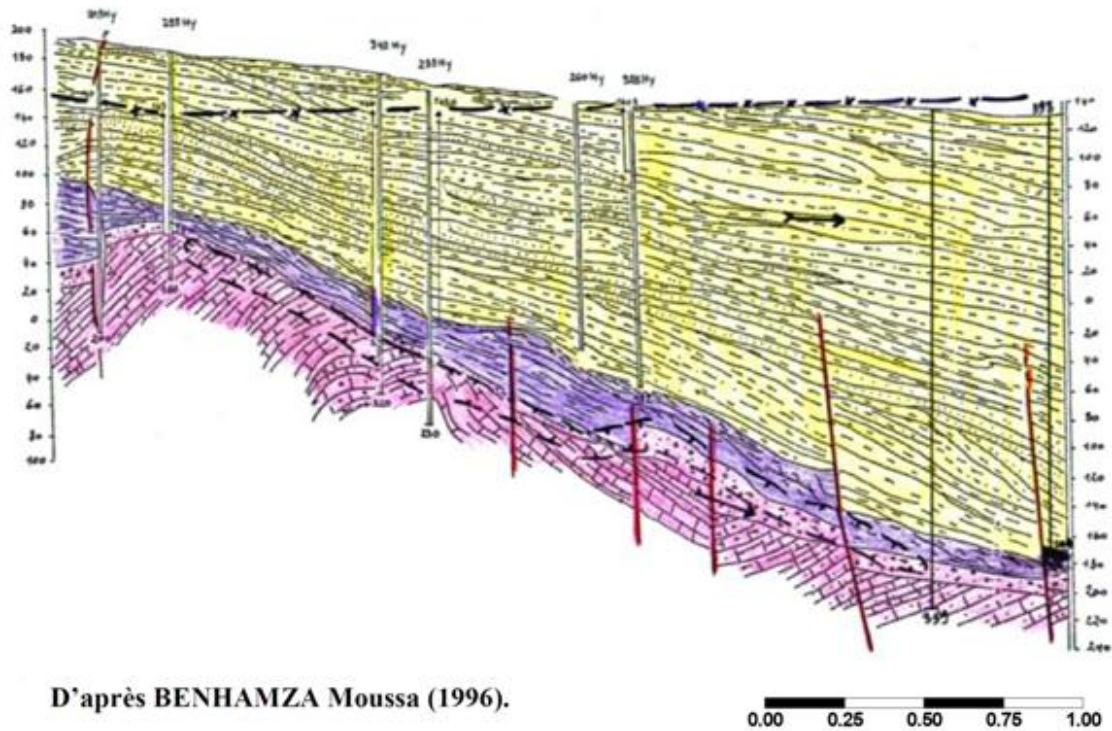
Coupe hydrogéologique I-I



D'après BENHAMZA Moussa (1996).

Coupe hydrogéologique II-II

# CHAPITRE III : GEOLOGIE



Coupe hydrogéologique III-III

## Légende des coupes Hydrogéologiques

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  | Breches et conglomérats<br>breches calcaires |  | Argiles   |
|  | Microbreches calcaires                       |  | Calcaires métamorphiques                            |
|  | Calcaires                                    |  | Schistes charbonneux et<br>graphiteux               |
|  | Calcaires argileux                           |  | Complexe aquifère des<br>roches de l'ogocène        |
|  | Grès calcaires et<br>calcaires gréseux       |  | Complexe aquifère des roches<br>du paléocène-éocène |
|  | Calcaires gravéllitiques                     |  | Roches imperméables                                 |
|  | Grès massifs                                 |  | Complexe aquifère des dépôts de l'Oligocène         |
|  | Gravélites                                   |  | Complexe aquifère des dépôts du Paléocène-Eocène    |
|  | Conglomérats et<br>conglomérats breches      |  | Direction du courant Souterrain                     |
|  | Argillites et aleurolites                    |  | Limites des travaux miniers                         |

### I- MATERIELS ET METHODES :

Notre étude s'est effectuée en deux étapes, une étape a consisté à une étude de terrain, afin d'effectuer des observations et des enquêtes sur les rapports entre le complexe mercuriel d'Azzaba et son environnement (les carrières, les mines, les produits de découvertures les déchets de scories et les lagunes d'eau industrielle ).

La deuxième étape a été consacrée par la collecte des données bibliographiques sur divers documents (thèses, rapports inédits et mémoires) qui ont traité la région d'Azzaba.

### II - Etat actuel de l'environnement au voisinage du district minier de Azzaba:

Afin de mettre en évidence l'impact de la pollution mercurielle sur l'environnement avoisinant l'usine de mercure, une visite sur le terrain nous a montré :

#### 1. Dans le complexe d'Ismail :

Ce complexe s'étend sur 46ha, il englobe l'usine de traitement, les scories (digue), deux bassins de décantations .

**L'usine de traitement** est fermée depuis 2005, suite à l'arrêt de l'exploitation au niveau des carrières, son emplacement est occupé par plusieurs bâtiments, importantes constructions (cheminée, fours, concasseurs...) (figure 15), et par deux bassins de décantation ,on a mis en évidence :

- Des quantités considérables des **gouttelettes de mercure** natif apparaissent à l'œil nu en suivant le parcours de traitement, dans les trémies, les scrubbers, et devant la pompe à mercure... (fig 15)
- Une intense dégradation des constructions métalliques et une corrosion avancée des machine , des passages et passerelles. (figure 15)
- Contamination visible des bassins de décantation (figure 16 ).



## CHAPITRE IV : PARTIE ENVIRENMENTALE

---

**Les scories (digues) :** se sont les résidus de traitement, ils ont un volume total d'environ 420.000<sup>m<sup>3</sup></sup> (figure 16), déposés dans deux endroits:

- Située à quelques mètres au sud ouest à l'extérieure de l'usine, d'une épaisseur qui varie entre 20 et 25 m, sans végétations, marquée par des fissures, des affaissements, et des glissements de terrain, marqué parfois par des alternances rouge et blanche qui indiquent une forte oxydation et la preuve de l'existence d'un drainage minier acide (DMA) . entourés par des champs où la pratique de l'agriculture et de pâturage est très vive.
- A l'intérieur de l'usine, de faibles quantités par rapport a la première(presque 28.000 m<sup>3</sup>, déposées à l'intérieur de l'enceinte )

**Les lagunes :** se sont deux petits lacs dans lesquels se réalise la décantation de déchets liquides (eaux techniques), situés a quelques mètres à l'ouest de l'usine et au nord des scories, à proximité de l'un des affluent de l'oued Fendek, elles sont mal aménagées et contiennent des quantités d'eaux très polluées, qui peuvent être déversés en cas de débordement dans l'oued suite à l'inclinaison suffisante de la surface topographique qui les sépare (figure 17).

## CHAPITRE IV : PARTIE ENVIRENMENTALE

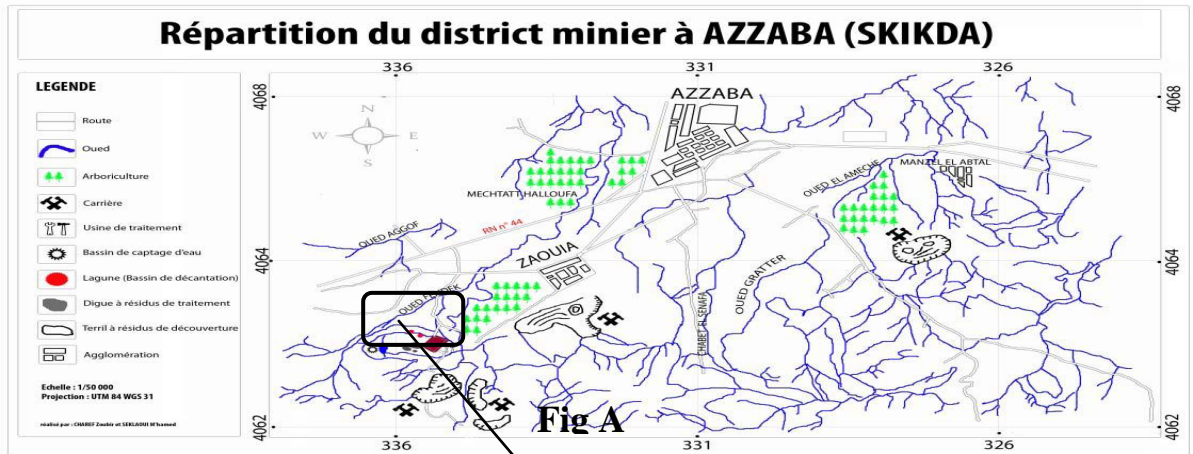


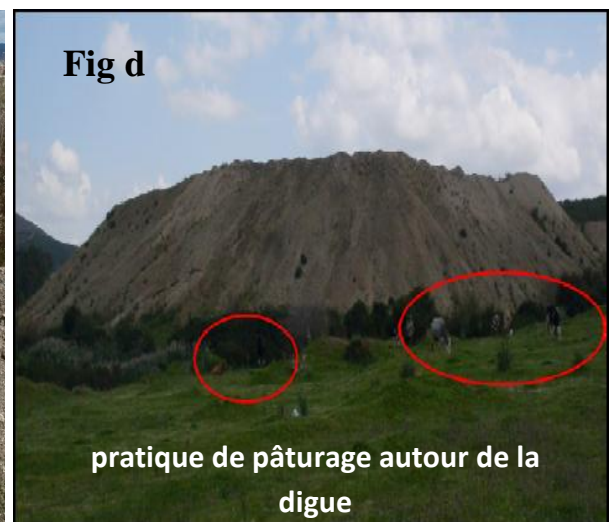
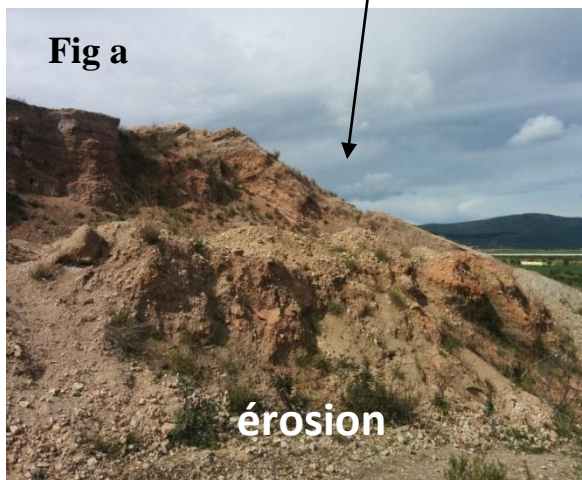
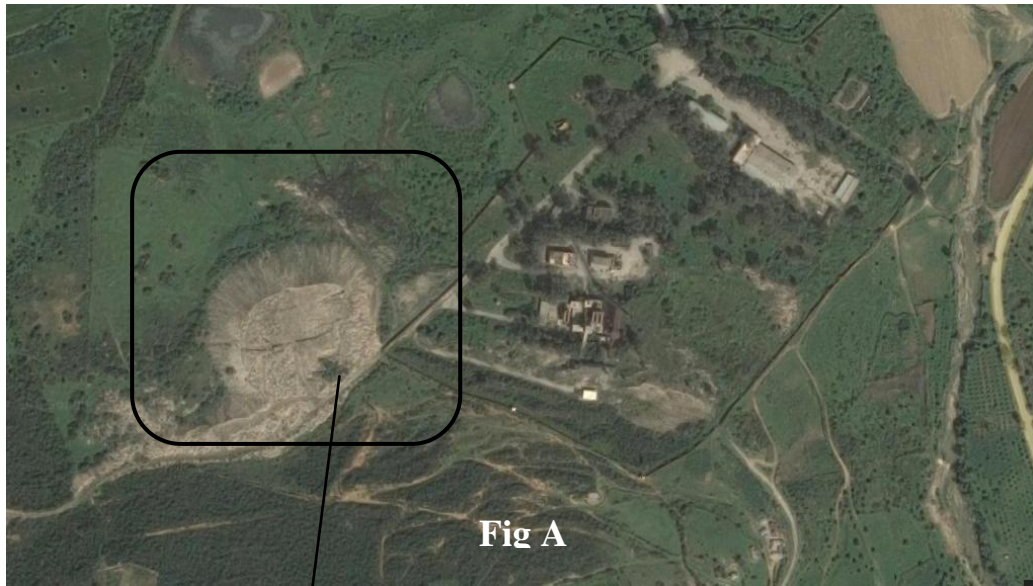
Fig b: Corrosion et dégradation des constructions



Fig c: Quantités de mercure natif



Figure 15 : Localisation et état de l'usine de traitement



**Figure 16 : localisation de la digue**

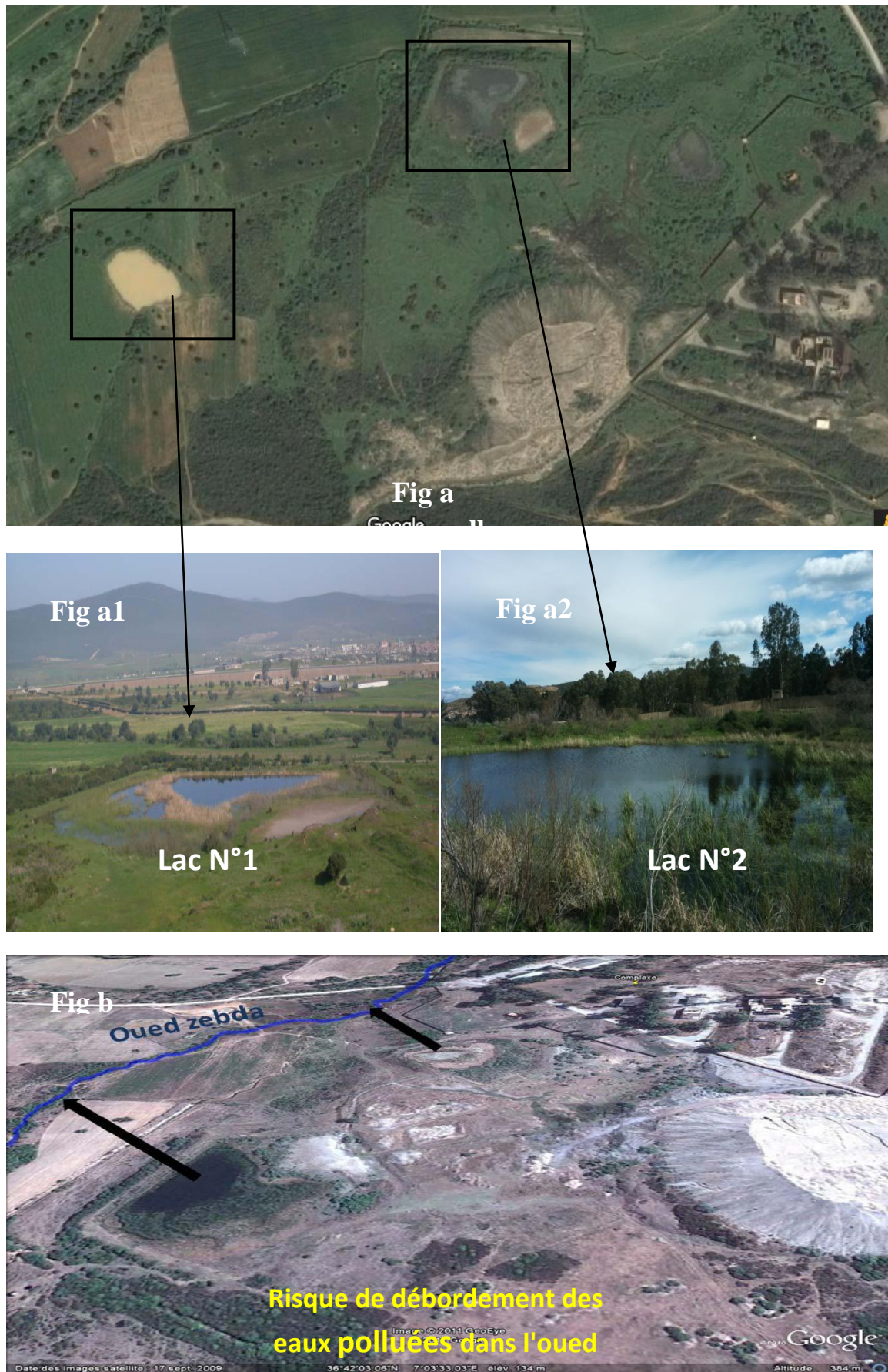


Figure 17: localisation des deux lagunes

### **2. ans les carrières :**

#### **a. Mra Sma I et II :**

Il s'agit d'une excavation d'une superficie de 15 à 20.ha (figure 18), La carrière de MraSma I a été remise en état, en la remblayant avec le tout-venant issue de la réalisation de tronçon de l'auto route Est Ouest qui passe dans la région ; La carrière de Mra Sma II est rempli plusieurs millions m<sup>3</sup>, elle forme un lac d'environ 20m de profondeur, on marque aussi la dégradation totale de l'état des gradins et l'absence de mesures de sécurité (pancarte, barrière, clôture), ce qui représente un risque pour les riverains. Les deux carrières sont entourées par des champs agricoles, et malheureusement malgré la remise en état d'une des carrières (Mra Sma I), la commune a installé récemment une décharge publique dans ce lieu.

#### **b. Guenicha :**

C'est une excavation d'environ 25 ha de superficie, remplie d'eau qui apparait très polluée d'environ 30m d'épaisseurs (inondée carrément) (figure 19).

D'ici la période pluviale prochaine, elle risquera de déborder et elle risque d'emporter tout le village (Zaouia) situé à l'aval de la carrière, et malgré les dispositifs d'urgence (création d'une barrière par les terrils), mais elle reste insuffisante.

#### **c. Ismail :**

c'est une excavation ouverte d'environ 15 ha de superficies, elle se situe au sud de l'usine de traitement, dans une zone agricole à réseaux hydrographiques important.

Elle représente une perturbation pour le milieu suite à la modification de la topographie.

Des sillons ont été creusés au cours des travaux d'extraction afin de faciliter l'écoulement des eaux de pluie. Ces eaux, qui sont plus ou moins enrichies en mercure par lavage de poussière de minerai et raclage de débris de roche, convergent vers un petit ravin naturel. Ce ravin est creusé le long d'une forte pente, sur une portion de versant qui s'étale de la mine au lit de l'oued Fendek qui déverse ces eaux (figure 20).

## CHAPITRE IV : PARTIE ENVIRENMENTALE

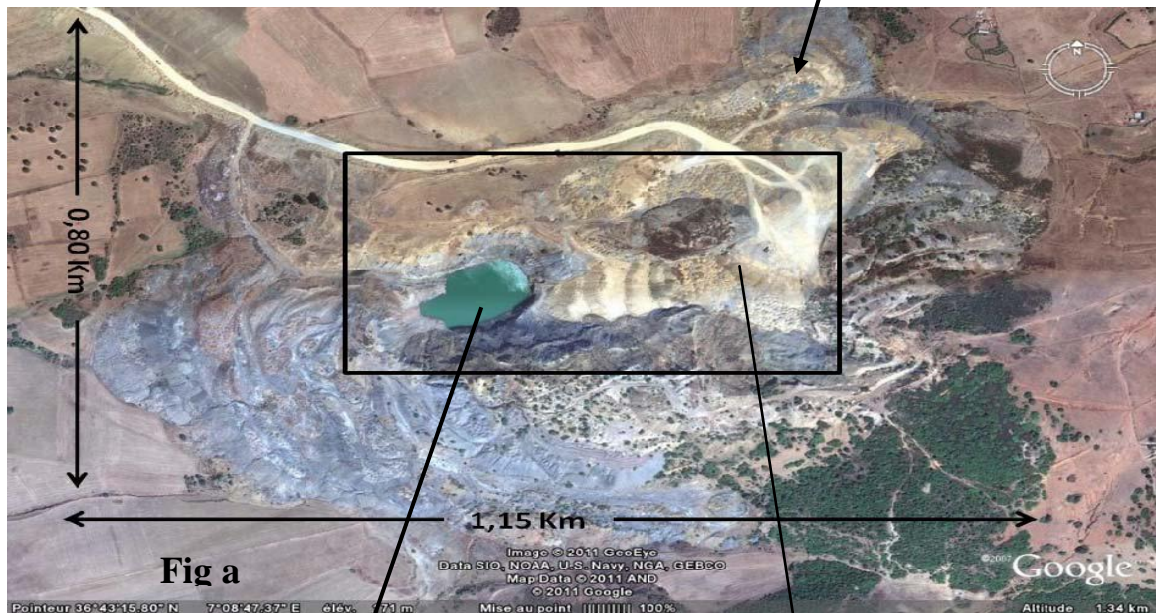
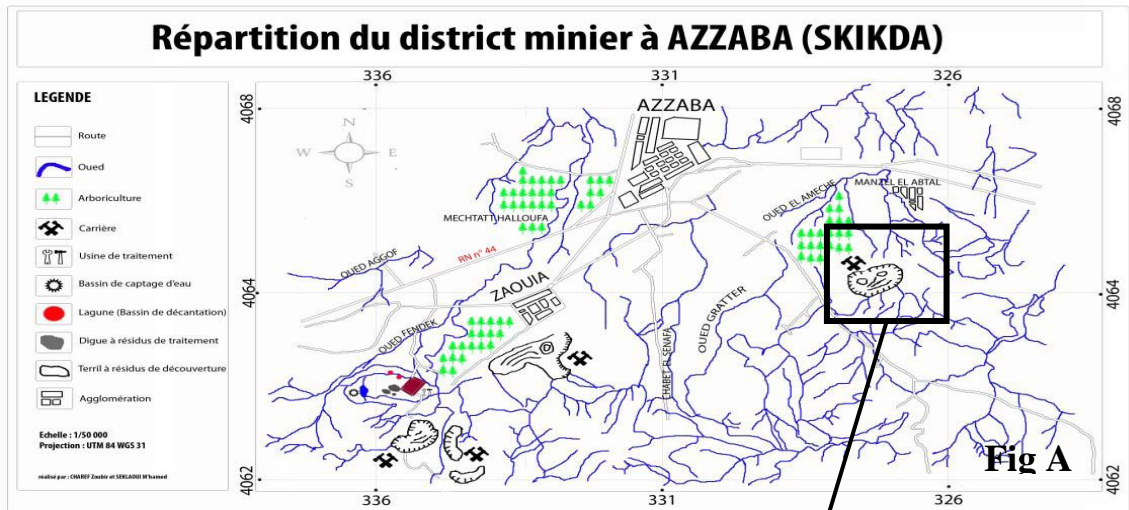
---

### **3. Dans les terrils :** (figures 21-22-23)

Il s'agit de front de découvertures stériles faiblement minéralisés (calcaire, argile, grés, schiste...), déposés à proximité des carrières et présentent des quantités considérables voir des millions de tonnes surtout à Mra Sma et Guenicha, en occupant des espaces énormes (d'environ 50ha à Guénicha, et 40ha à Mra Sma).

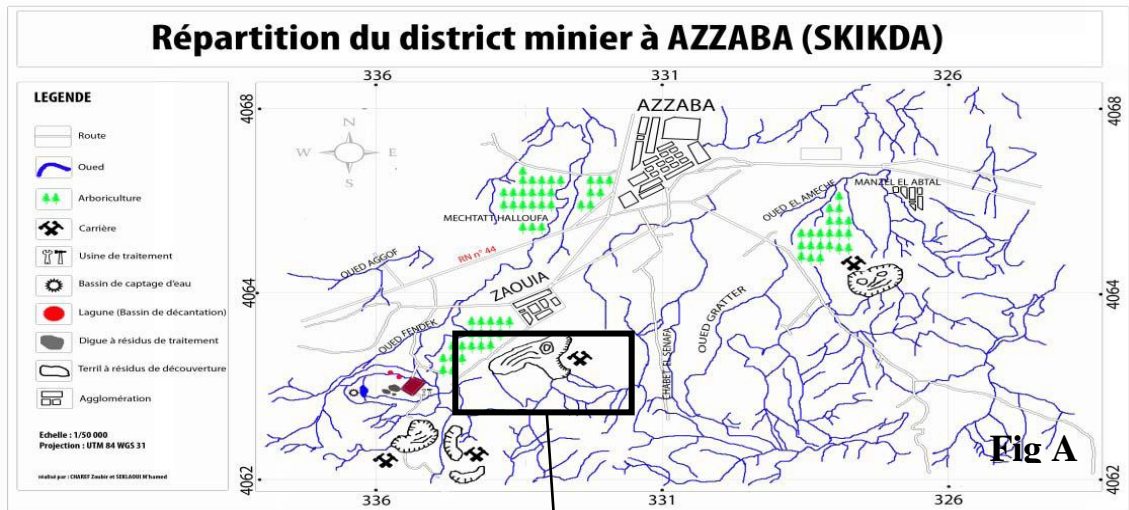
Ils sont physiquement stables mais affectés par des ravines créées par des écoulements d'eaux superficielles, ils nuisent à l'esthétique du paysage.

# CHAPITRE IV : PARTIE ENVIRENMENTALE



**Figure 18:** localisation et état des carrières Mrasma1 et Mrasma2

# CHAPITRE IV : PARTIE ENVIRENMENTALE



**Figure 19** : localisation et état de la carrière Guenicha



## CHAPITRE IV : PARTIE ENVIRENMENTALE

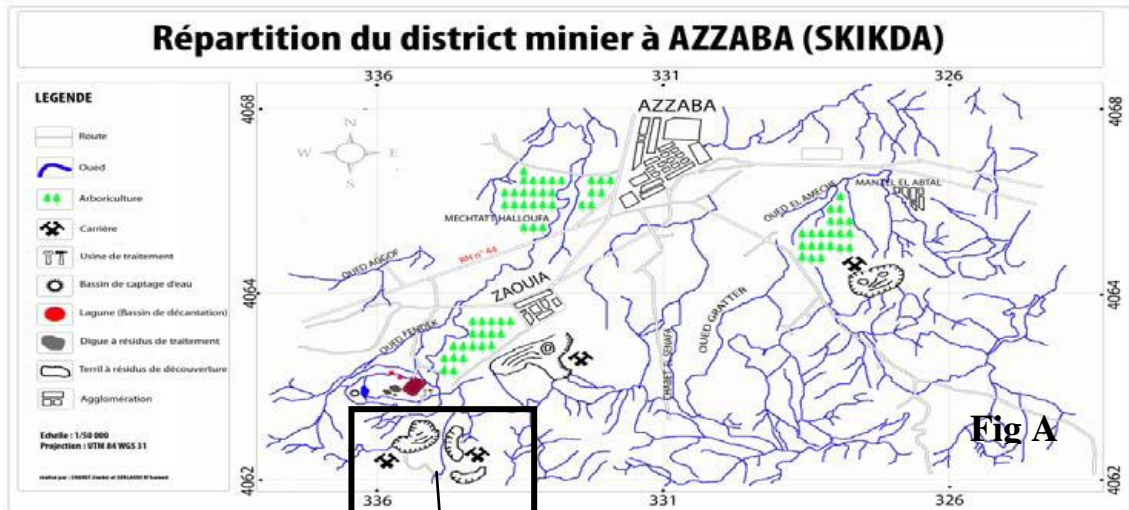


Figure 20: localisation et état des carrières Ismail

## CHAPITRE IV : PARTIE ENVIRENMENTALE



**Figure 21:** Occupation de grande surface



**Figure 22 :** Nuisance au paysage



**Figure 23 :** Installation d'une décharge publique sur les terrils de Mra sma

### **III- Evaluation des concentrations en mercure dans la région de Azzaba :**

#### **1-Etude de la pollution hydrique :**

Le complexe ne dispose que de deux lacs de décantation (lacs naturels) non aménagés, d'un volume de 15.000 m<sup>3</sup>. La capacité de traitement étant de 600 m<sup>3</sup>/j, le procédé de traitement consiste en la neutralisation décantation par le rajout de Na<sub>2</sub>S. A la sortie du processus, les eaux sont évacuées dans les deux lacs de décantation. Lors des averses de pluies, les deux lacs débordent ; les eaux excédentaires sont rejetées dans l'oued Zebda, qui se déverse dans le confluent de l'oued Kébir, ce dernier se jetant directement en mer.

Concernant les apports en mercure de oueds Zebda et El Fendek, la fraction de l'eau des lacs de décantation qui atteint ces oueds, peut contenir du mercure sous formes de sulfure mercurique (HgS) en suspension , de mercure métallique (Hg<sup>0</sup>) en suspension ou dissous et d'ion mercurique (Hg<sup>2+</sup> dissous).

#### **a- Les eaux superficielles:**

Au total neuf (9) points de prélèvements ont été effectués dans le réseau hydrographique de la région d'étude (Fig. 24- tableau1). Ces points ont été choisis dans l'Oued Zebda, Fendek, l'oued emchekel et l'oued kébir. Les points de prélèvements sont disposés de façon à s'éloigner progressivement de la source de pollution (usine de mercure).

(Annexe A)

l'analyse d'échantillons est faite par absorption atomique .

(Khalfi, 1992. Tifouti, 1993)

#### **b- Les eaux souterraines :**

Neuf (9) forages et deux (2) sources dans les deux nappes aquifères de la zone Nord numidique, ont été analysées, pour identifier les ions (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), le pH, le résidu sec, le titre hydrotimétrique, le **Hg**, le Cu, le Pb, le Zn et l'Arsenic. La désignation des points de prélèvements est consignée dans (la figure 25 ,Annexe A),

Les analyses on été effectuées aux laboratoires du Complexe Pétrochimique de Skikda et de Boumerdes (Alger). (Benhamza 1996-2005)

### **2- Etude de la contamination des sédiments :**

Vingt (20) échantillons de sol ont été prélevés aussi bien dans les alentours de l'usine de mercure que dans les sites éloignés de la source de pollution (**Tableau 2**). (**Annexe A**)

La **figure 26 (Annexe A)** représente schématiquement la localisation sur terrain de tous les sites choisis.

Le dosage du mercure dans les échantillons de sol a été réalisé par spectrophotométrie d'absorption atomique à vapeur froide

( **Mohamed Kahoul, Amel Alioua, Nassima Derbal, Wissem Ayad** ),2013

### **3- Etude de la contamination des résidus (Scories):**

Plus d'un million de tonnes de déchets contaminés (scories) s'entassent encore à l'air libre.

Des échantillons ont été prélevés des scories à coté de l'usine de traitement et traités au laboratoire en lames mince et section polies afin de déterminer le cinabre (le minerai) dans les scories. (**Mr. SEKLAOUI M'hamed 2010**)

### IV - Résultats et discussion :

#### 1- Contamination des eaux

##### a- Eaux superficielles:

Parmi les sites d'échantillonnages dans les eaux superficielles courantes qui se trouvent dans le voisinage de l'emplacement de ce complexe présentant les teneurs en mercure total les plus élevées (des deux lacs de décantation étaient respectivement 2310ppb et 224ppb) , c'est aussi pour les point de oued Zebda et oued Fendek les plus proches des lacs de décantations (avec des teneurs de 96ppb et 2.25ppb respectivement) Ceci montre l'importance de l'influence directe des eaux techniques liés à son activité industrielle puisque Lors des crues en périodes hivernales les eaux débordent les deux lacs et se déversent dans le réseau hydrographique le plus proche.

Les autres points de prélèvement situés au long de oued Fendek présentaient des valeurs qui dépassent les normes et qui diminuent respectivement en s'éloignent de l'usine jusqu'à la teneur minimal 0,5ppb .Annexe B (tableau 3).

Les matières organiques des sédiments aquatiques du fond (la vase) fixent le mercure [KuDo et al., 1978]. aussi *L'ion mercurique*, bien qu'il soit soluble dans l'eau, peut s'adsorber par les particules en suspension [BILLEN ,1973 ]. Cet ion peut donc passer à l'état insoluble et enfin être entraîné dans la vase lorsque les particules en suspension dans l'eau se déposent.

Cela apparaît Dans les eaux de l'embouchure (Guerbes) où le mercure se trouve en trace avec une teneur enregistrée dépassait les 3µg/l , aussi une forte pluie par exemple augmente l'intensité d'agitation des courants d'eau et perturbe la vase impliquant une remise en suspension et en solution de la fraction de mercure .

Le mercure charrié jusqu'à l' oued El Fendek peut être ainsi stocké dans la vase de cet oued.

Par conséquence , une éventuelle faiblesse de la teneur en cet élément dans l'eau. n'implique automatiquement pas que la charge de l'oued en celui-ci est faible.)

### **b- Eaux souterraines:**

**Rappel:** La zone d'étude est caractérisée par deux nappes aquifères :

- la nappe aquifère des dépôts de l'Oligocène
- la nappe profonde du Paléocène-Eocène.

Ces deux nappes sont séparés par les roches imperméables du Paléozoïque et du Lutétien Priabonien ( Eocène(moy-sup)).

Les résultats des analyses des micropolluants métalliques montrent des teneurs élevées en Hg et en Pb. Pour le Hg les valeurs excessivement élevées de l'ordre de 80 µg/L sont localisées dans les forages 3, 4, 7 captant l'Oligocène ainsi que la source 6. Il en est de même pour le Pb où les teneurs varient de 60 à 80 µg /L. Ces valeurs sont très élevées conformément aux normes pour le Hg et le Pb qui sont respectivement de 1µg/L et de 50 µg/L (OMS, 1980).

Sur la totalité des points analysés, seul le forage 11 captant la nappe profonde Paléocène-Eocène présente la teneur minimale en Hg de 1µg/L. (Fig. 27, tableau 4) ( annexe B)

La contamination des eaux de la nappe Oligocène par le Hg est donc largement supérieure à celle du Paléocène-Eocène, elle n'est donc pas due au lessivage des formations géologiques puisque le Hg dans la région d'étude a un coefficients de migration faible à moyens (0.15) et que les faciès présentant des Clarke élevés en Hg sont localisés dans la nappe Paléocène-Eocène. (Bikmeev, 1970) (les Clarke élevés en Hg sont les micro brèches calcaires du Thanétien Hyprésien (1.5 ppm), les grès et conglomérats du Permo Trias (1.4 ppm), les argiles et siltites du Luthétien Priabonien (0.9 ppm), alors que les grès et les argiles de l'Oligocène présentent des teneurs de fond en Hg faibles de l'ordre de 0,6 ppm).

Les travaux effectués dans la région ont montré que l'usine de Hg présente une pollution **hydrique**, en effet une partie des teneurs en mercure résultait du recyclage par les pluies du Hg atmosphérique dégagé par l'usine et la grande partie provient des rejets hydriques de cette dernière. L'usine de mercure dispose de deux lacs de décantations non aménagés où sont déversées les eaux de refroidissement du processus contaminées par le mercure. Lors des crues en périodes hivernales les eaux débordent en dehors des deux lacs et se déversent dans le réseau hydrographique et notamment dans le principal Oued de la région (Oued Fendek) qui alimente la nappe phréatique Oligocène présentant un toit gréseux perméable.

### **2- Dosage du mercure dans les échantillons de sol :**

Les résultats indiqués dans **la figure 29 (Annexe B)** ont permis de constater qu'un grand nombre d'échantillons de sol est contaminé par le mercure. Les plus fortes teneurs (plus de 50 µg/g d'Hg de sol) sont observées dans les prélèvements 2, 3,5 et 9 des sites situés respectivement à 50, 60, 10 et 30 mètres de l'usine de mercure. Les échantillons 1, 4, 6, 7 et 10 renferment des teneurs en mercure allant de (1,6 à 9,51 µg/g d'Hg de sol) dont leurs sites se trouvent entre 80 et 200 mètres de l'usine. Le reste des prélèvements ne renferment pas de mercure et leurs sites sont relativement très éloignés de la source de pollution, soit entre 1,5 et 13km.

Ces valeurs montrent bien que la pollution mercurielle du sol est inversement proportionnelle à l'éloignement de l'usine de mercure.

Cette pollution qui s'atténue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'usine serait due au phénomène de dilution par les mouvements des masses d'air. La pollution relativement accrue aux alentours de l'usine pourrait s'expliquer par le fait que l'accumulation du mercure dans les sols est la conséquence de la faiblesse de l'autoépuration, due à la faiblesse du drainage par ruissellement, car la région étudiée présente des pentes nulles à très faibles.

Parmi les sites d'échantillonnages de sols, ceux qui se trouvent dans le voisinage de l'emplacement de ce complexe présentent les teneurs en mercure les plus élevées. Ceci montre l'importance d l'influence directe des déchets et autres rejets liés à son activité industrielle.

### **3- Contamination des résidus de traitement par Hg :**

Les analyses des résidus de traitement formant les digues (scories) ont révélés des teneurs importantes en Hg, par comparaison avec les teneurs moyennes de la croûte terrestre, la teneur en mercure (Hg) avoisine les 0,050 g/kg (selon un document du ministère de l'Environnement).

## CHAPITRE IV : PARTIE ENVIRENMENTALE

---

L'analyse microscopique, en section polies des échantillons prélevés dans les scories a montré l'existence de cinabre qui a échappé au traitement;

Les fortes teneurs résultants des concentrations dans les filières de traitement et d'enrichissement de minerai exploité (cinabre). Ceux si peuvent former une source de pollution, sachant que ces digues (scories) d'Azzaba sont situées à quelque mètres sur le parcours de l'oued Fendek et à proximité des deux lagunes .

Ses résidus nus (dignes) sont prédisposés à l'altération, au transport par les eaux météoriques et le vent, comme ils peuvent subir une intense érosion hydrique et/ou éolienne, et être dispersés pour atteindre les ressources en eaux et les sols avoisinants (un rapport officiel du ministère de l'Environnement «plus de 60% de la composante de ces déchets se trouvent sous forme de particules fines», ce qui accentue leur propagation).. Comme ils peuvent subir un lessivage et libérer le mercure dans l'eau.



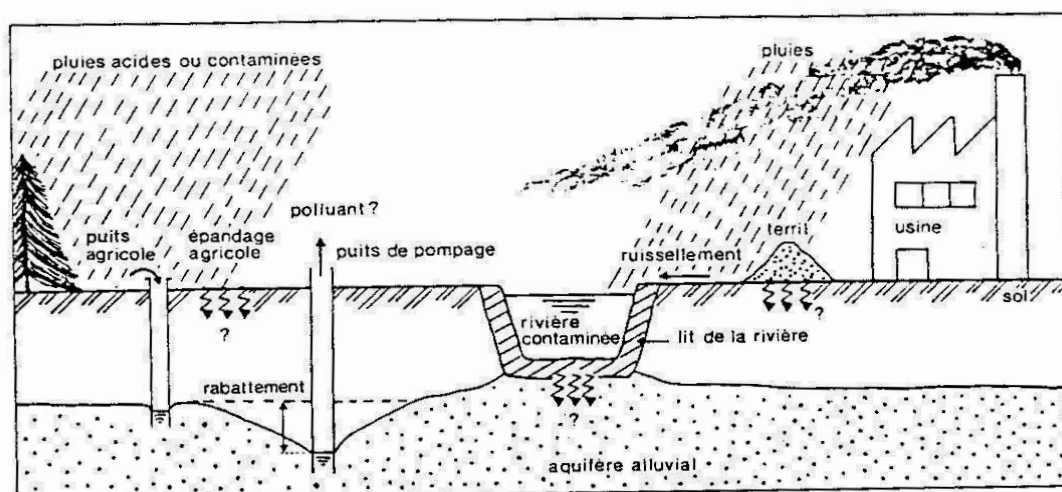
### V. Conclusion:

Les résultats d'analyse ont révélé que les eaux superficielles et souterraines sont contaminées par le mercure parfois en quantité importante.

Les teneurs en Hg retrouvées dans les eaux souterraines de la région sont très élevées et dépassent les normes admissibles, témoignant ainsi d'une contamination de la nappe phréatique Oligocène.

La principale pollution causée par l'usine de mercure est essentiellement hydrique, du fait du débordement des eaux excédentaires des deux lacs de décantation du complexe de mercure de Azzaba dans l'oued Kebir et ces affluents.

une pollution mercurielle du sol et des digues a été mis en évidence avec de fortes teneurs de ce polluant à proximité de l'usine.



**Figure 30:** la pollution dérivant de l'usine

### VI- Impact de l' exploitations du mercure :

#### 1- Impact sur la population :

La concentration du mercure dans les urines semble être habituellement chez un sujet non exposé de l'ordre de 0.5 µg/L au maximum

L'étude faite par ( Service de Médecine du Travail du CHU de Annaba - Algérie) a porté sur un total de 88 travailleurs de l'usine, 354 enfants scolarisés dans la région de Azzaba, aux environs de l'usine de mercure ( 1 à 7 Km ) et 124 enfants résidant dans la ville d'Annaba, à 80 Km de Azzaba, représentant une population témoin.

|                                | <b>Nombre</b> | <b>Min</b><br>(µg/G) | <b>Max</b><br>(µg/G) | <b>Moyenne</b><br>(µg/G) |
|--------------------------------|---------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
| <b>Travailleurs<br/>Azzaba</b> | 88            | 2                    | 13924                | 650                      |
| <b>Elèves<br/>Azzaba</b>       | 354           | 0                    | 17                   | 2.49                     |
| <b>Elèves<br/>Annaba</b>       | 124           | 0                    | 4                    | 0.45                     |

**Tableau 8 :** Hg urinaire inorganique en µg/G de créatinine chez les travailleurs de l'usine, les écoliers de Azzaba et d'Annaba.

Les résultats des analyses montrent une moyenne élevée chez les travailleurs de l'usine de mercure (650 µg/G de créatinine), chez les enfants scolarisés de Azzaba sur un total de 354 élèves, la moyenne en Hg urinaire inorganique est de 2,49 µg/G de créatinine, témoignant ainsi d'une forte imprégnation,

Les symptômes de cette contamination mercurielle correspondants aux signes cliniques (tremblements, test à l'écriture, épreuve doigt nez), n'apparaissant d'habitude qu'à des taux de Hg supérieurs à 50 µg/G de créatinines inexistant chez les élèves d'Annaba, sont quand même marqués chez ceux de Azzaba (1.29%) et plus visibles chez les travailleurs de l'usine(50%) (O.M.S, 1980 ; Lauverys, 1992 ; Nezzal et al. ,1991).

### **2- Impact sur la végétation :**

Les espèces végétales analysées dans la zone d'étude et ses alentours, montrent que le taux d'accumulation est très élevé dans les espèces prélevées autour du complexe, et qui diminue en s'éloignant de ce dernier ; ceci prouve que la contamination et la bioaccumulation de mercure dans les espèces végétales est liée directement à l'activité minière ; de ce fait, on peut dire que le mercure d'Azzaba est introduit dans la chaîne alimentaire.

### **3- Impact sur le paysage et les surfaces:**

- Changement de la topographie et perturbation physique et paysagers (Décapage sur le lieu d'extraction assèchement, affaissements risque d'envasement, érosion )
- Surfaces dévastées; altération de la morphologie; risques de chutes de pierres sur les gradins.
- Occupation des espaces importants (complexe + carrières).
- Instabilité des déchets miniers (terrils, scories) , Installations abandonnées (ouvrage minier)ce qui provoque un danger pour la population de la région..

## **VII -Recommandations de dépollution du site :**

### **A- Traitements des sols et des déchets solides (les scories)**

#### **du site:**

Les traitements qui vont être proposés sont attribués aux déchets et digues de l'exploitation et aussi au sol pollué à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enceinte de la carrière après un démantèlement de l'usine du traitement et de ses infrastructures métalliques (fours, condenseurs...).

L'inventaire des traitements des solides pollués par le mercure est composé de procédés industriels aux objectifs différents :

1. Traitement définitif : élimination totale du polluant contenu dans le sol avec récupération du mercure ;
2. Traitement à moyen terme : immobiliser le polluant dispersé dans son contenant en évitant les transferts ;
3. Les technologies intermédiaires aux deux premières qui permettent de concentrer le polluant, de restreindre sa mobilité dans l'attente d'un traitement définitif.

#### **1) Les procédés industriels de dépollution avec récupération complète**

##### **du polluant:**

##### **a- Les procédés de désorption thermique (Extraction thermique):**

Ces procédés ont pour principe la volatilisation du mercure et des composés mercuriels par augmentation de température. Ces procédés incluent une étape de traitement des gaz produits afin d'y récupérer le mercure. (Figure 31-32).

Pour le sol pollué à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enceinte de la carrière il faut avant d'entamer ces procédés:

- reconnaître les dimensions de la pollution .
- excaver le sol sur la hauteur nécessaire .

## CHAPITRE IV : PARTIE ENVIRENMENTALE

Les résultats sont performants en terme de rendement métal et de conformité des résidus, Ils sont efficaces sur tous les produits mercuriels. mais ils sont très coûteux en énergie et en investissement demande beaucoup de temps

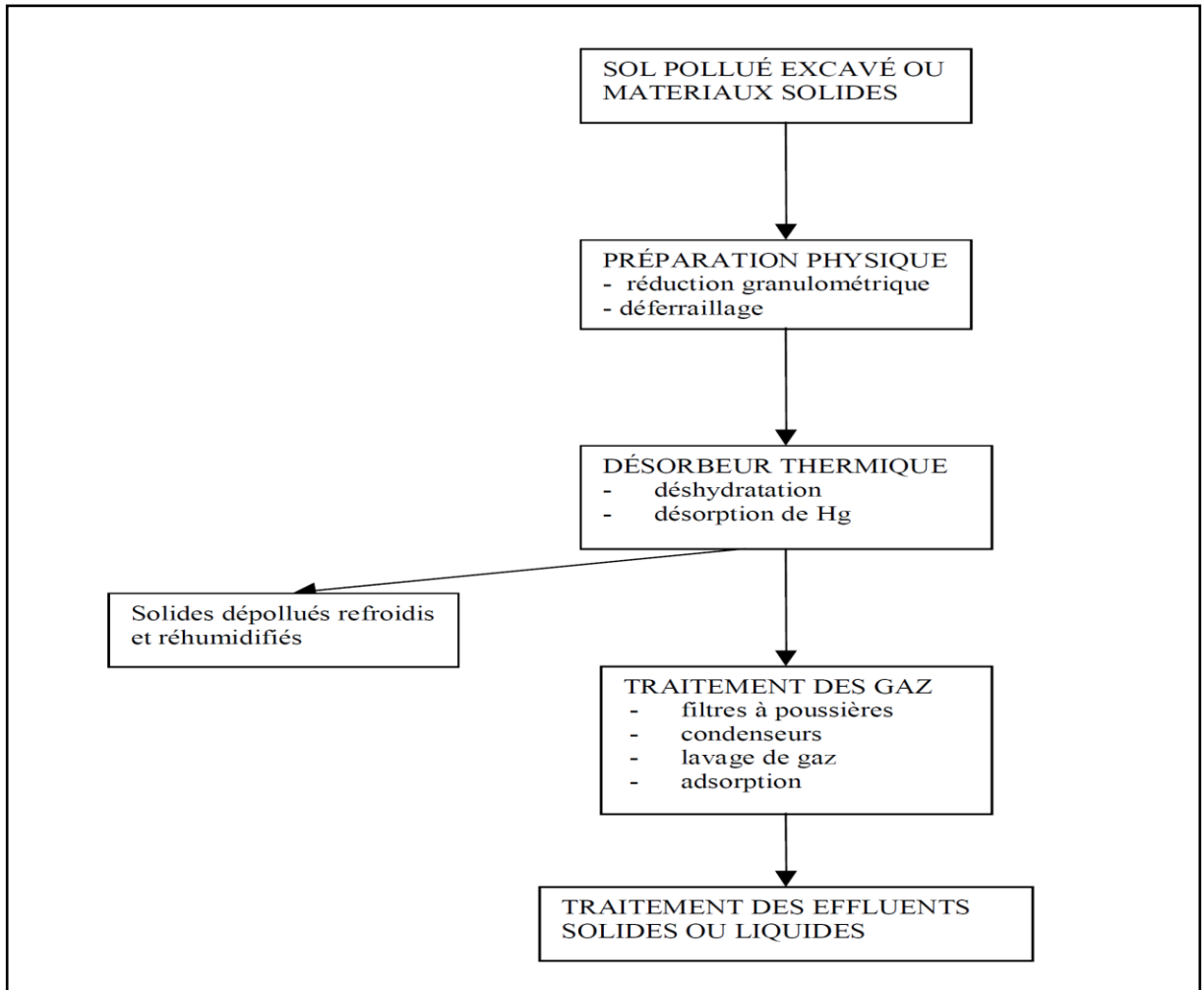


Figure 31 - Schéma de traitement d'un procédé thermique de sol pollué.

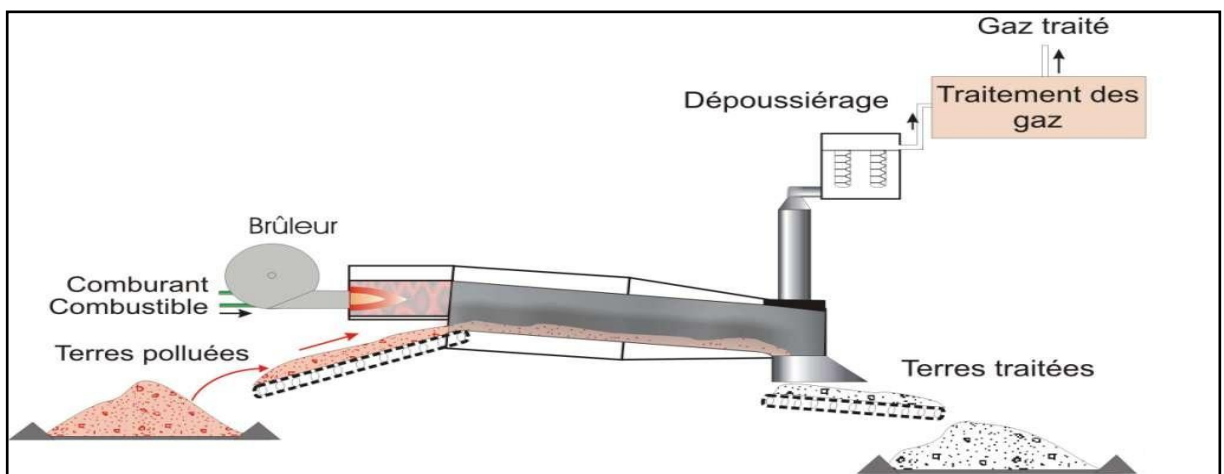


Figure 32 - Schéma de principe de la désorption thermique sur site

### **b- Les procédés hydrométallurgiques**

#### **La lixiviation**

Le traitement s'effectue dans des réacteurs agités où le sol est mis en contact avec le lixiviant (acide sulfurique, chlorhydrique, hypochlorite...). Le mercure solubilisé est récupéré par électrolyse ou par cémentation.

Remarques générales sur ces procédés :

- ils sont de type *ex-situ* ;
- les matériaux subissent toujours une ou plusieurs étapes préliminaires avant leur traitement (concassage - broyage - classification granulométrique - parfois déshydratation...)
- une ou plusieurs étapes de traitement des exhaustes sont toujours incluses (traitement des gaz et/ou des solutions générées) ;
- les coûts opératoires sont fortement affectés par les mesures de sécurité à prendre pour protéger les biens et personnes eu égard à la volatilité du mercure ;
- les investissements et coûts de fonctionnements sont lourds.

#### **2) Les procédés industriels de confinement:**

Le matériau est remodelé ensuite encapsulé, placé dans une membrane imperméable inerte (géomembrane, une couche d'argile...) d'où les transferts avec l'environnement seront limités voire inexistantes.

Très bonne pour imperméabiliser les déchets et éviter l'infiltration des métaux lourds vers la nappe aquifère.

Du fait de leur abondance et de leurs propriétés remarquables, les argiles sont utilisées par l'homme depuis des millénaires. Elles présentent notamment de fortes capacités de rétention des éléments chimiques, elles sont **peu perméables**, elles **retardent ou limitent naturellement leur dispersion** dans le milieu géologique.

Remarques

Ces technologies nécessitent un suivi analytique constant pendant la durée de vie de l'immobilisation en attente d'un traitement définitif.

### **3) Les procédés industriels de concentration et d'immobilisation temporaire du polluant:**

#### **a - Voie physique**

Les traitements par voie physique sont issus de l'industrie minière et la plupart des outils utilisés pour concentrer le mercure fonctionnent et continuent de fonctionner depuis un siècle.

Ces technologie reposent sur les caractéristiques physiques du mercure (facilité à se disperser, densité élevée)

Le lavage de sols par action de l'eau sous pression Parfois utilisé avec un adjuvant chimique, ce procédé permet de décrocher les particules de mercure collées sur les matériaux et de les collecter dans les fractions fines.

#### **1- Les concentrateurs centrifuges**

Ces appareils sont couramment utilisés dans l'industrie minière comme préconcentrateur de métaux et minéraux lourds (or, galène, sphalérite, platinoïdes...).

Depuis 20 ans, ils sont utilisés dans le traitement des rejets miniers contenant du mercure et des amalgames générés par l'industrie aurifère.

Cette technologie permet de traiter et de reconcentrer les métaux lourds dans une fraction plus minime qui sera traitée par une autre technique afin d'en éliminer le mercure contenu.

L'utilisation de procédés humides nécessite l'installation d'une section de traitement des purges des eaux de procédés (Hg dissous et autres éléments solubilisés) .

#### **2- La flottation**

Méthode physico-chimique de traitement, son principe de fonctionnement consiste à adsorber des agents chimiques sur les surfaces du mercure qui rendent hydrophobe le mercure et le font flotter en s'accrochant à des bulles d'air injectées dans le réacteur agité. Le mercure est récupéré dans les mousses de flottation. Cette technique est toujours utilisée pour récupérer et produire du mercure du cinabre dans l'industrie minière.

### **b- Voie chimique (techniques de stabilisation)**

#### **1- L'amalgamation**

Cette méthode d'agglomération par liaison avec certains métaux comme le nickel, l'étain, le cuivre, le soufre (comme l'or et l'argent dans l'industrie minière ou dans la formation des amalgames dentaires) permet de former un complexe moins dangereux que le mercure métal et de stabiliser l'amalgame formé en attente d'un traitement par voie thermique. Cette méthode est pratiquée pour immobiliser, dans l'urgence, le mercure élémentaire. Ce type de traitement est pratiqué sur des matériaux excavés et démobilisés.

#### **2- La stabilisation**

Elle s'effectue par adjonction au sol à traiter, d'agents stabilisants (soufre, ciment, cendres volantes...). La charge est malaxée avec les additifs et subit des changements de température pour consolider le matériau final qui est placé en dépôt après refroidissement. Un traitement des gaz doit être mis en place. Ce procédé est considéré comme une mesure d'urgence en attente d'un traitement complémentaire.

#### **3- L'électrocinétique**

Dénommée aussi électro-lixiviation, elle consiste à implanter des électrodes dans le sol puis à appliquer un champ électrique entre les deux électrodes afin de faire migrer et concentrer le mercure vers l'électrode adaptée.

#### **4 Phyto-concentration**

C'est l'utilisation de la capacité des plantes à concentrer le mercure dans leurs propres structures.



### **B- Traitement des eaux du site :**

les traitements suivants seront après un Pompage de l'eau stagnée dans les carrières,( les deux lacs de décantation , les gisements inondés(Guenicha , Mrasma 2)) , après la dépollution un comblement de ces dernières afin de réhabiliter le milieu physique est nécessaire .

(Ex : comblement de la carrière Mra sma I par le tout venant extrait lors de la réalisation de tronçon de l'autoroute Est-Oust qui passe dans la région).

### **Les procédés industriels de dépollution des eaux polluées par le mercure**

#### L'adsorption

Le mercure s'adsorbe sur le charbon actif (souvent dopé par du soufre, iode...), sur les résines échangeuses d'ions, sur des alumines activées... Cette méthode nécessite ensuite une séparation liquide/solide afin que les solides récupérés puissent être traités par une voie thermique de récupération du mercure.

#### La réduction

Le mercure inorganique  $Hg^{2+}$  est réduit par  $SnCl_2$  en  $Hg^0$  qui est ensuite dégazé par aérage. Ce procédé nécessite donc un traitement des gaz afin de récupérer le mercure. Les solutions traitées contiennent alors de l'étain.

#### La filtration

Les eaux sont filtrées sur des médias filtrants de faible porosité et souvent adsorbants qui sont ensuite élués.

#### La cémentation

Le mercure est cimenté sur de la poudre de zinc ou d'aluminium puis après séparation liquide/solide, le ciment est récupéré.

#### La précipitation

Le mercure soluble se combine avec le sulfure afin de donner un produit relativement insoluble qui sera ensuite récupéré lors d'une étape de séparation liquide-solide.

## CHAPITRE IV : PARTIE ENVIRENMENTALE

---

### La coagulation-précipitation

Les formes organiques et inorganiques du mercure sont adsorbées et coagulées à l'aide de sulfates d'aluminium ou de fer puis précipitées par adjonction d'hydroxydes des mêmes éléments.

Les procédés de traitement des eaux font généralement appel à la précipitation du mercure sous la forme d'hydroxydes. Si les teneurs résiduelles restent inacceptables, la précipitation du mercure à l'aide de sulfures est utilisée.

### Photocatalyse

C'est un procédé photochimique utilisant le  $\text{TiO}_2$  comme photocatalyseur qui permet la récupération du mercure.

### Barrières réactives

Elles permettent de contenir et diriger les eaux vers un exutoire doté d'une cellule de dépollution de type adsorption. La barrière elle-même (argiles, charbon actif...) peut aussi constituer la cellule de dépollution.

### I- CONCLUSION GENERALE

Le district minier de Azzaba est situé au nord est de l'Algérie sur le flanc nord de la chaîne numidique, à 30km au sud de Skikda et à environ 3km de la ville d'Azzaba.

La géologie de la région est caractérisée par la présence de deux ensembles structuraux allochtone et autochtone, l'allochtone est formé par une série d'écaillés faite de roches d'âge est de composition variés, allant des schistes métamorphiques du Paléozoïque aux argiles de l'Oligocène. L'autochtone est composé de dépôts de la dorsale kabyle comprenant des formations dont l'âge varie du Trias à l'Eocène supérieur, on y rencontre les dépôts disloqués du Paléocène avec des grés, calcaires, microbrèches calcaires et des brèches, l'éocène inférieur est formé de grés quartzeux et de calcaire surmonté par des conglomérats, brèches, calcaire, des microbrèches calcaires et de calcaire gréseux.

Les gisements de mercure de la zone d'étude sont regroupés en deux champs miniers (Mra Sma, Ismail). Ils sont encaissés dans des formations calcaire gréseuses ; la minéralisation mercurielle est exprimée sous forme de cinabre et métacinabre, elle est associée à une autre minéralisation polymétallique à galène, sphalérite, pyrite et chalcopryrite, la gangue est composée de barytine, quartz, calcite, dolomite, gypse et kaolinite.

Les travaux d'extraction dans tout le gisement se font à ciel ouvert, mais l'exploitation s'est arrêtée en 2006 pour des raisons techniques et environnementales.

Les investigations environnementales réalisées sur la région d'Azzaba ont permis de déceler l'existence d'une pollution importante par le mercure (Hg) au niveau des sédiments superficiels, des eaux, de l'air et des résidus de traitement.

Les résultats d'analyses obtenues pour les eaux, les sols et la végétation montrent que d'une manière générale les teneurs en Hg ont dépassé les normes dans la zone du complexe d'Ismail, et que au fur à mesure qu'on s'éloigne cette teneur décroît.

## CONCLUSION GENERALE

---

La pollution mercurielle dans le district minier présente plusieurs impacts sur l'environnement :

- Impact visuels et physique (changement de la topographie, nuisance au paysage, installations abandonnées).

- Impact sur les eaux (drainage minier acide DMA, pollution des eaux superficielles et des eaux souterraines).

- Impact sur la végétation (dégradation des terrains agricoles, pollution des espèces végétales).

- Impact sur la santé humaine : bioaccumulation de mercure plus au moins importante chez les habitants qui résident autour du complexe minier, chez lesquels on constate l'apparition de signes cliniques tels que les tremblements et un taux élevé de Hg dans les reins et le sang.

Cette contribution à l'étude de l'état environnemental du district minier d'Azzaba montre qu'on est en face d'un sérieux problème sur l'environnement et la population. un travail de dépollution est très nécessaire : démantèlement des infrastructures du complexe minier, Recouvrement des scories et des lagunes, Comblement des carrières, réhabilitation et revégétalisation des dumps...etc

## BIBLIOGRAPHIE

- ABBAS K. ET OUMOUCHE M. (1993) – Les altérations associées aux minéralisations mercurielles du gisement d'Ismail (AZZABA) (pétrographie- minéralogie) – mémoire d'ingénieur – USTHB.
- ALIOUA A. MAIZI N. ET AL. (2008) – Détection et Étude de la Pollution Mercurielle à L'aide des Bio Indicateurs dans la Région de Azzaba (Algérie Orientale) – European journal of Scientific Research, Vol 24 N°1, 10p. 10-22.
- ALLIGUI F. ET BOUTALEB A. (2010) – Impact d'activité de mines de mercure sur les ressources en eau à Azzaba (Nord Est Algérien) – American Journal of Environmental Sciences 6 (4), 7p. 395-401.
- Alligui Fadila and Boutaleb Abdelhak . Origin and Speciation of Selected Trace Elements in Groundwater: A Case Study of Azzaba District in Northeast of Algeria 2013
- Audit environnemental du complexe mercuriel d'AZZABA, ENOF (Azzaba) 2000.
- BENDERRADJI H. (1999) – Quelques indices d'appréciation de la pollution mercurifère dans le milieu éco-géographique de la dépression de Azzaba (Nord Est Algérien) – Observatorio MedioAmbiental N°2, 24p. 191-215.
- BENHAMZA M. KHERICI N. ET AL. MAIZI N. ET AL. (2008) – Qualité des eaux souterraines de la zone mercurielle Nord numidique (Azzaba), Nord-Est Algérie. Evaluation de la contamination de la population par le mercure inorganique – Bull du service géologique, Vol 19 N°2, 19p. 135-149.
- BENHAMZA Moussa CONTRIBUTION DE LA GEOPHYSIQUE A L' ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA ZONE MERCURIELLE NORD NUMIDIQUE (AZZABA) – DETERMINATION DU DEGRE DE POLLUTION 2007
- BENOERRADII Mohammed El I-Iabib *Quelques indices d'appréciation de la pollution mercurifère dans le milieu éco-géographique de la dépression de Azzaba-Nord Est Algérien 1999*
- BOUARROUDJ M T. (1986) – Etude métallogénique du district mercurifère de la chaîne Nord-numidique (région d'Azzaba, Algérie du Nord oriental) contrôles et perspectives de recherches – Thèse de doctorat. Ing. Univ. P.et M. Curie Paris IV.
- Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, (1995), Manuel sur l'environnement-Documents pour l'étude et l'évaluation des effets sur l'environnement, Ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement.
- EVALUATION MONDIALE DU MERCURE Préparée par le PNUE – Décembre 2002
- HELLAL L. ET DJOUADA S. (1994) – Contribution à l'étude géologique des gisements mercuro-polymétalliques du champ minier d'Azzaba (Ismail - Guénicha – Mra Sma) W.SKIKDA – mémoire d'ingénieur – Université de Constantine.
- **J.F. Thomassin, S. Touze** Avec la collaboration de **Ph. Baranger et Ph. Freyssinet** Le mercure et ses composés Comportement dans les sols, les eaux et les boues de sédiments. 2003

- KHALFI F. (1992) – Evaluation de la pollution de l'eau et de l'air par l'élément mercure «environnement du complexe mercuriel de Azzaba» – Mém. Diplôme universitaire. Hygiène et sécurité. Univ. De Batna.
- LAMAI S. ET YOUNSI CH. (2005) – Contribution à l'étude géologique et géochimique du gisement de Guenicha (zone mercurielle d'Ismail – Azzaba(W.SKIKDA)) – mémoire d'ingénieur – USTHB.
- MEHIDI R. ET YOUNES F. (1993) – Les altérations associées aux minéralisations mercurielles du gisement d'Ismail (AZZABA) (pétrographie- minéralogie) – mémoire d'ingénieur – USTHB.
- MENAKOV A. MENAKOV G. ZMAEDINOV T. (1977) – géologie, facteurs de localisation des gisements et estimation prévisionnelle de la zone mercurielle Nord-numidique (Synthèse des données géologo-géophysiques concernant les travaux effectués pendant la période 1966-1967). Rapp. Min. E.R.E.M, Algerie (inédit).
- Mohamed Kahoul, Amel Alioua, Nassima Derbal, Wissem Ayad [Behavior of soil micromycetes regarding the mercury pollution in the area of Azzaba (Algeria)] 2014
- RAOULT J F. (1969) – Relation entre la dorsale Kabyle annonçant le flysch de Penthièvre (Nord du constantinois – Algerie). Bull. Soc. Géol. Fr (7) XI, PP 523 – 543, Paris.
- RAPPORT FINAL. (2003) – Le mercure et ses composés comportement dans les sols, les eaux et les boues de sédiments – BRGM
- RAPPORT SUR LE MERCURE Société Chimique de France
- S.Berdoudi, A. Hafsaoui, K. Talhi ,(2010), A computer model study of fragmentation in open pits and quarry , phys,chem,news 53,129.139
- SEKLAOUI M'hamed ,CHAREF Zoubir . Etude de la pollution mercurielle dans le district minier de Azzaba (Skikda) 2011
- Tibor, T. and I. Feldman. ,(1996), ISO 14000. A Guide to the New Environmental Management Standards. Irwin Professional Publishing.
- TIFOUTI M. (1993) – Détection de la pollution mercurielle à l'aide de l'accumulation spacio-temporelle du mercure dans l'eau, les feuilles d'agrumes et le sol, dans la région de Azzaba. Th. Mag. Ecotoxicologie. Univ. De Annaba.
- V.BARON, AFNOR, (2005), Pratiquer le management de l'environnement, AFNOR (Association Française de Normalisation) Publié le 18/06/2005
- VILA J M. (1980) – La chaîne alpine d'Algerie orientale et des confins Algero-tunisiens – Thèse doctorat. Univ. P. et M. Curie , Paris VI, 2 tomes, 665 P.
- ZOUAGHI R. (1992) – Etude de la pollution mercurielle des eaux et des sédiments, dans la région de Azzaba. Thèse Mag. Chimie analytique et traitement des eaux – Univ. De Constantine.

# Annexe A

## Sites des eaux de surface : (Khalfi 1992 . Tifouti 1993)

Tableau 4: les points de prélèvements dans le réseau hydrographique

| Eaux superficielles | Sites                                     | Lieux   | sources      |
|---------------------|---|---|--------------|
|                     | 1   | Lac de décantation N° 1                                 | Khalfi 1992  |
|                     | 2   | Lac de décantation N° 2                                 |              |
|                     | 3   | Oued Zebda avant confluence avec les eaux excédentaires | Tifouti 1993 |
|                     | 4   | Oued Fendek avant l'intersection avec l'oued Zebda      | Khalfi 1992  |
|                     | 5   | Oued Fendek amont                                       | Tifouti 1993 |
|                     | 6   | Oued Fendek aval  |              |
|                     | 7   | El Fendek :Pont de chemin de fer                        |              |
|                     | 8   | El Fendek :Pont de la route de Constantine              |              |
| 9                   | El Fendek :Pont ancien de la route Skikda |   |              |

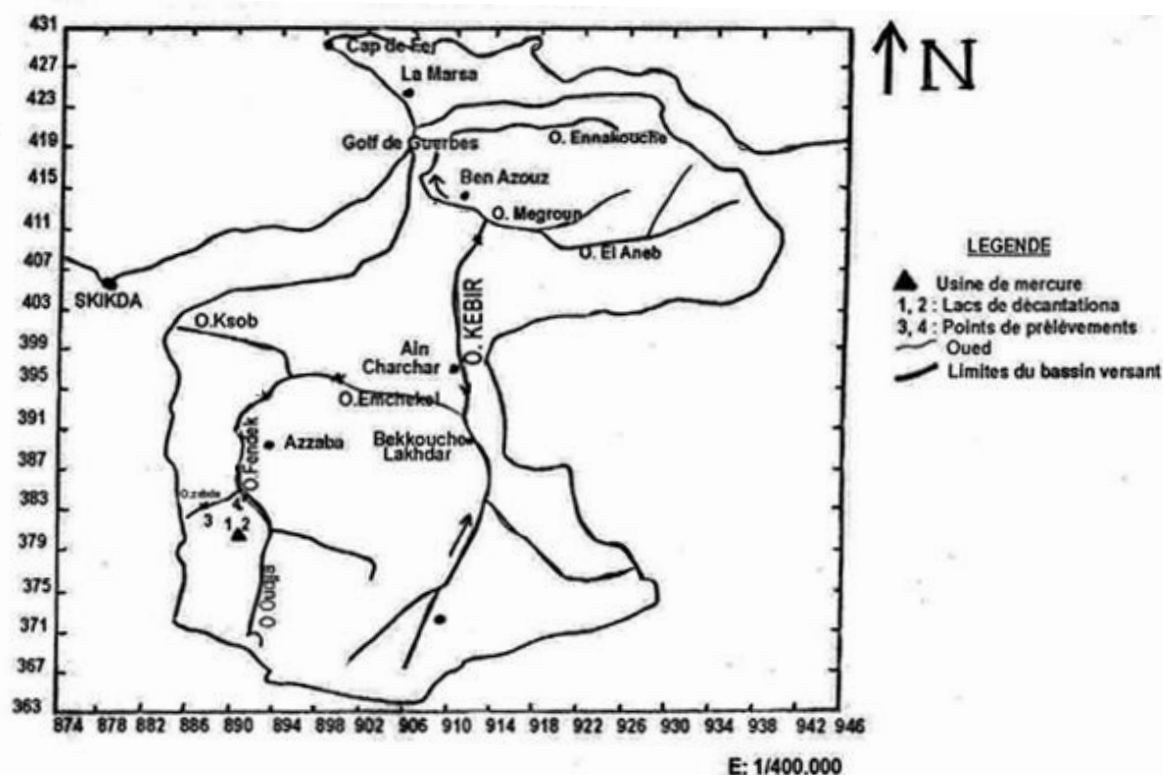


Figure 24 : Désignation des points de prélèvements dans le réseau hydrographique

Les points de prélèvements sont disposés de façon à s'éloigner progressivement de la source de pollution (usine de mercure)

# Annexe A

## Sites des prélèvements des eaux souterraines: (Benhamza M., 1996):

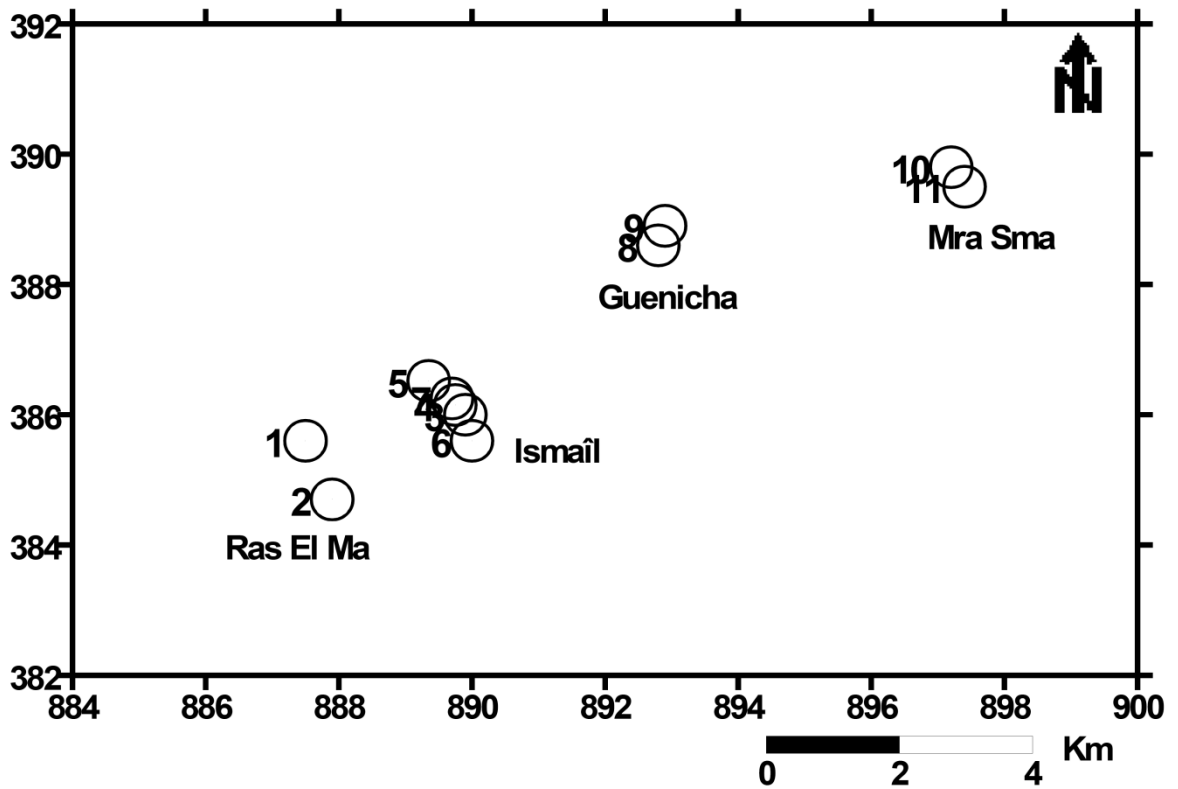


Figure 25 : Désignation des points de prélèvements dans la zone mercurielle Nord numidique



# Annexe A

## Etude de la contamination des sédiments:

( Mohamed Kahoul , Amel Alioua, Nassima Derbal, Wissem Ayad )

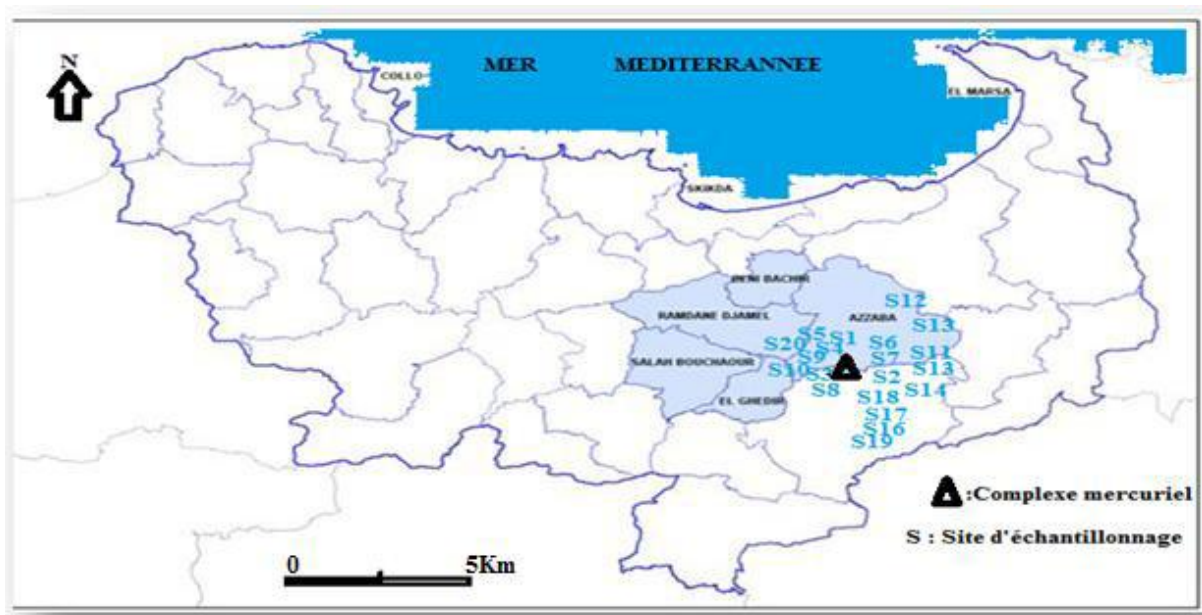


Figure 26 : Localisation des sites d'échantillonnage de sol dans la région d'étude.

Tableau 5 : Distances et orientations des sites d'échantillonnage.

| Sites | Distance/l'usine(m) | Orientation/l'usine |
|-------|---------------------|---------------------|
| 1     | 300                 | Nord                |
| 2     | 50                  | Nord                |
| 3     | 60                  | Nord                |
| 4     | 80                  | Nord                |
| 5     | 10                  | Nord                |
| 6     | 100                 | Nord                |
| 7     | 130                 | Nord                |
| 8     | 200                 | Nord-ouest          |
| 9     | 30                  | Nord                |
| 10    | 200                 | Ouest               |
| 11    | 5000                | Nord                |
| 12    | 10.000              | Nord-est            |
| 13    | 13.000              | Nord-est            |
| 14    | 1500                | Nord-est            |
| 15    | 2000                | Nord-est            |
| 16    | 3000                | Sud                 |
| 17    | 2000                | Sud                 |
| 18    | 1500                | Sud                 |
| 19    | 5000                | Sud                 |
| 20    | 3000                | Nord-ouest          |

# Annexe B

## Résultats

Tableau 6 : Données de dosage totale de mercure pour les sites d'échantillonnages

| Eaux superficielles | Sites   | lieux                   | teneur en mercure totale en <u>ppb</u> |
|---------------------|---|-------------------------|--|
|                     | 1   | Lac de décantation N° 1 | 2310                                   |
| 2                   | Lac de décantation N° 2                                 | 224                     |  |
| 3                   | Oued Zebda avant confluence avec les eaux excédentaires | 96                      |  |
| 4                   | Oued Fendek avant l'intersection avec l'oued Zebda      | 2,25                    |  |
| 5                   | Oued Fendek amont                                       | 1                       |  |
| 6                   | Oued Fendek aval  | 5                       |  |
| 7                   | El Fendek :Pont de chemin de fer                        | 1,3                     |  |
| 8                   | El Fendek :Pont de la route de Constantine              | 1                       |  |
| 9                   | El Fendek :Pont ancien de la route Skikda               | 0,5                     |  |

## Les eaux souterraines :

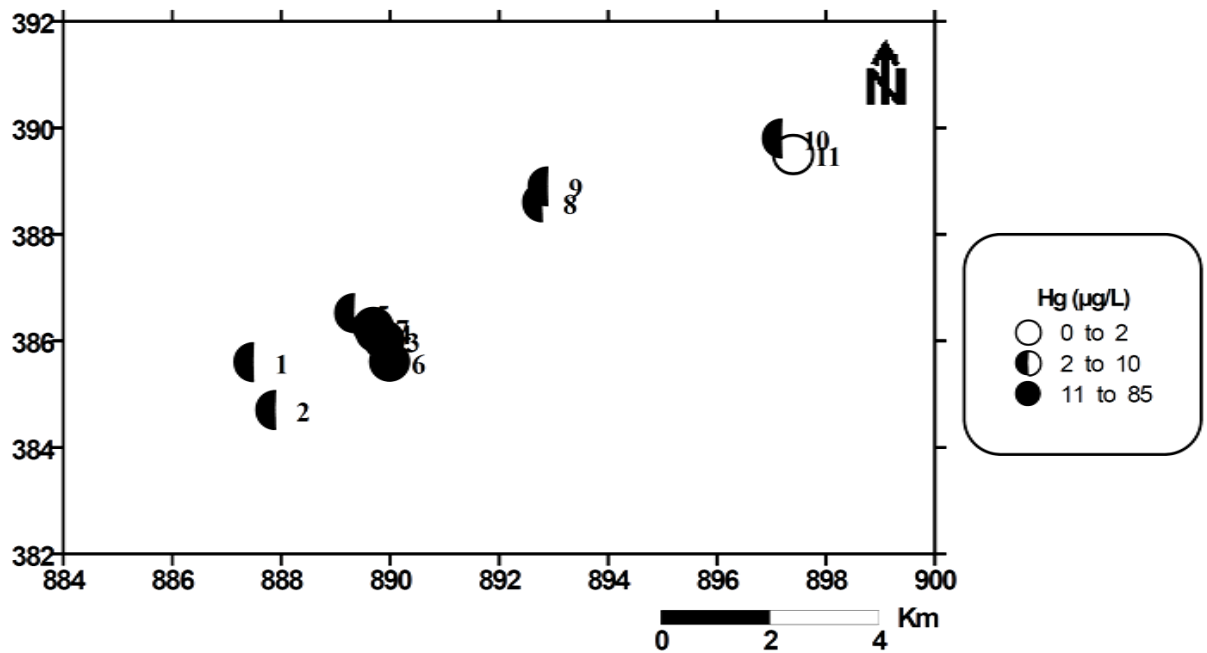


Figure 27 : Carte de répartition du Hg dans les eaux souterraines de la zone de Azzaba

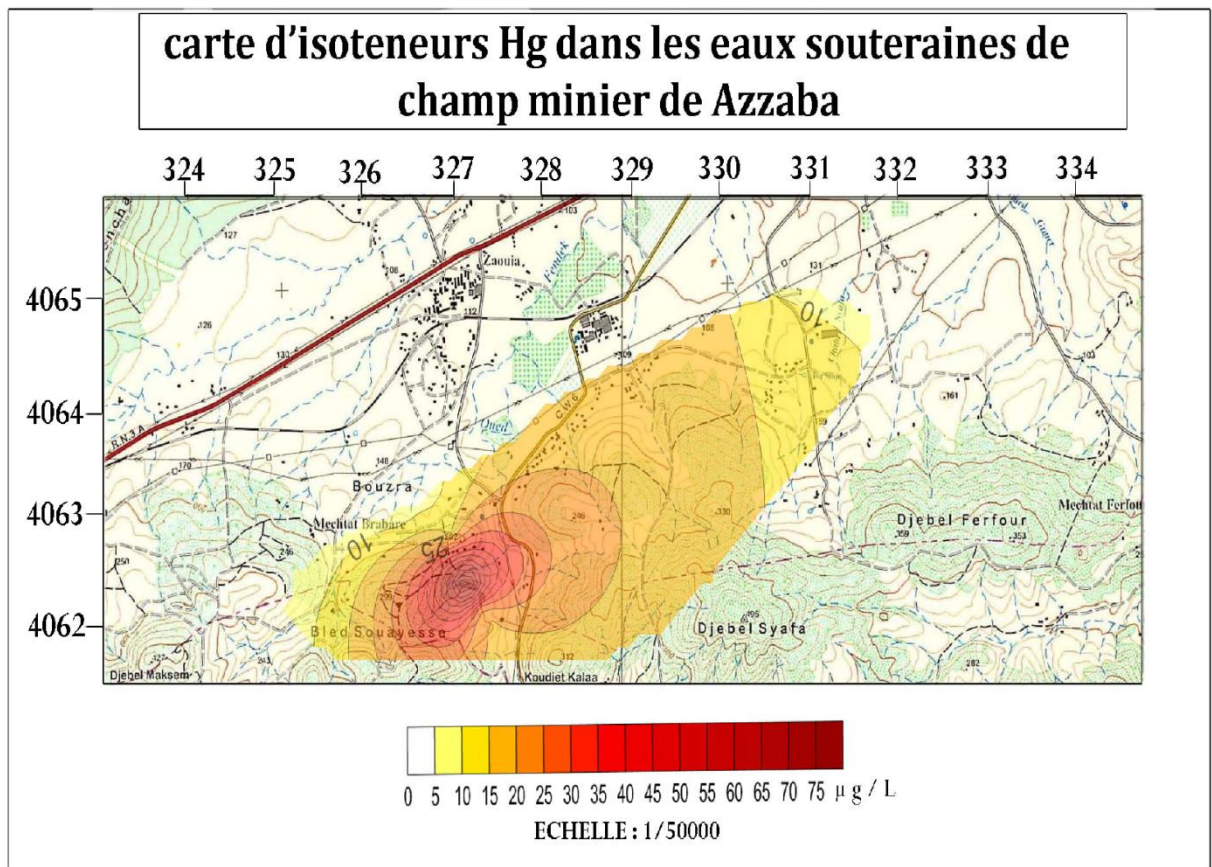
# Annexe B

**Tableau 7 : Résultats des analyses chimiques**

| N° | Gisement  | Champ minier     | Nappe            | Hg (mg/l)        |
|----|-----------|------------------|------------------|------------------|
| 1  | Ras El Ma | Ismail           | e <sup>1-3</sup> | 0,007            |
| 2  |           |                  | g <sup>2</sup>   | 0,008            |
| 3  | Ismail    |                  | g <sup>2</sup>   | 0,08             |
| 4  |           |                  | g <sup>2</sup>   | 0,08             |
| 5  |           |                  | g <sup>2</sup>   | 0,004            |
| 6  |           |                  | e <sup>1-3</sup> | 0,08             |
| 7  | Guenicha  |                  | g <sup>2</sup>   | 0,08             |
| 8  |           |                  | e <sup>1-3</sup> | 0,006            |
| 9  |           |                  | e <sup>1-3</sup> | 0,006            |
| 10 | Mrasma    |                  | Mrasma           | e <sup>1-3</sup> |
| 11 |           | e <sup>1-3</sup> | 0,001            |                  |

e<sup>1-3</sup> (Paléocène-Eocène)

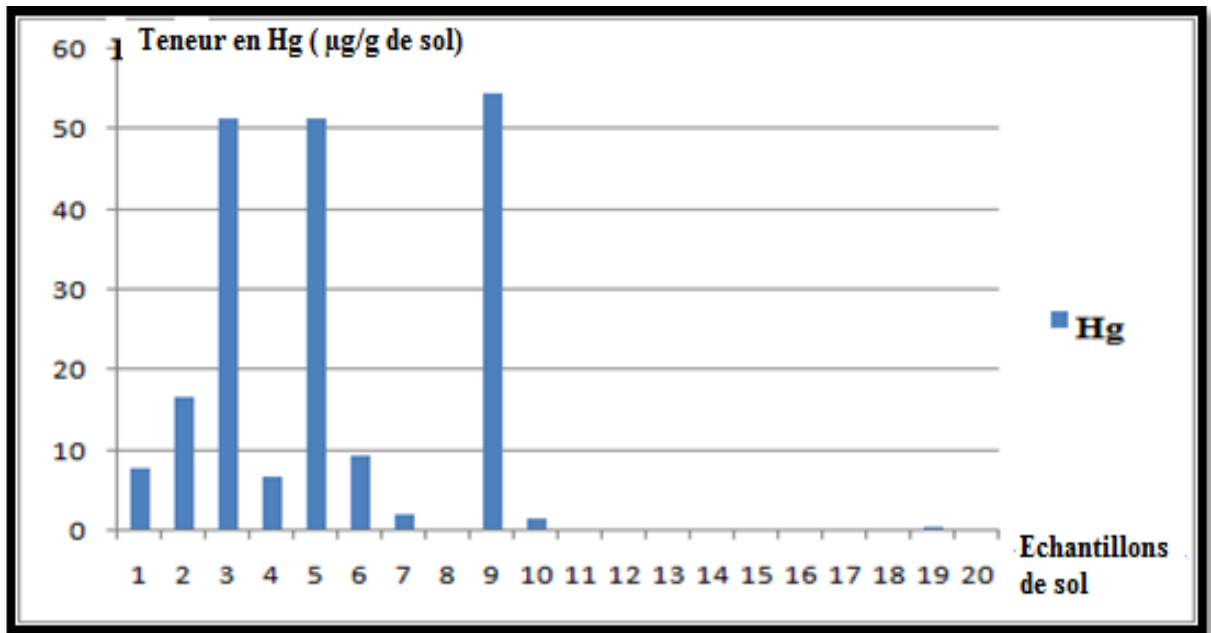
g<sup>2</sup> (Oligocène)



**Figure 28:** carte des concentration de hg dans les eaux souterraines

# Annexe B

---



**Figure 29** : Variations des teneurs en mercure dans les différents prélèvements de sol.