

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة 20 أوت 1955 - سكيكدة
AOUT 1955 SKIKDA



Faculté des sciences

Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire Présenté en Vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière: Ecologie et environnement

Option: Protection des écosystèmes

Intitulé

**Impact des rejets de l'ancienne mine de mercure de Azzaba sur
l'environnement (Azzaba).**

Présenter par:

Abdennouri Yousra

Bouayad Amira

Boualaska Hassiba

Bounouur Mouna

Membre de jury:

Hadjodja Nawel MCB

Président

Université de 20 Août 1955 – Skikda

Boudries Amel MCB

Promoteur

Université de 20 Août 1955 – Skikda

Rouidi Sonia MCB

Examineur

Université de 20 Août 1955 – Skikda

Année universitaire 2021/2022

Remerciements

Nous tiens d'abord à remercier dieu le tout puissant et miséricordieux qui nous donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

*En second lieu, nous tiens à remercier nous promotrice Mme **Boukehla Amel**, pour son soutien, sa disponibilité, ces précieux conseils.*

*Une grande merci à Mr **Laouira Ryade** Chef service des Mines et du Contrôle Réglementaire de la Direction des Mines et de l'Industrie de la wilaya de Skikda.*

Nous tiens à remercier l'entreprise ENOF EL-GHEDIR pour les documents techniques fournis.

*Nous tiens bien évidemment à remercier tous les Membres de la direction de l'environnement de skikda et surtout Mr **Moussa Sahnoun** pour les informations qu'il nous a données Nous sincères remerciements à les membres du jury (Mme **Rouidi Sonia** et Mme **Hdjodja Nawel**) pour l'honneur qu'ils m'ont fait en participant à l'évaluation de ce travail.*

Dédicace

Louange à Dieu tout-puissant qui m'a permis de voir ce jour tant attendu.

Je dédie cet humble travail à :

Mes chers parents pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de ma vie :

*Mon cher père, mon soutien et mon exemple, **Abdennouri Abdelhafid**,*

*Ma mère bien-aimée, qui a une empreinte sincère dans ma vie, **Nettour Khadija**,*

Que Dieu prolonge leur vie et perpétue leur santé.

*À mes chers frères pour leur soutien, et leur soutien à travers vents et marées, **Taj Eddine** et le jeune **Anes Abde Arrahman**, que Dieu les préserve et les perpétue, une fierté pour moi et ma famille.*

*A ma chère soeur **Nesrine** pour ses encouragements et son soutien constants, et son mari, **M. Fayssal Karboua**. Que Dieu les préserve et leur accorde santé et bonheur.*

*A ma deuxième soeur et mon amie **Chaima**, merci d'être toujours à mes côtés et de me soutenir en toutes circonstances. Que Dieu la préserve et la perpétue pour moi.*

Yöusra.

Dédicace

*Je dédie cet humble travail, la personne grâce à qui je n'étais pas là, à la personne qui s'est beaucoup sacrifiée pour moi et a cru que je pouvais arriver à ce que je suis aujourd'hui, mon cher père **BOUAYAD SAAD**.*

Sans oublier les prières bénies de ma mère, qui m'a toujours accompagné tout au long de mon parcours académique, que Dieu prolonge votre vie et vous donne longue vie pour nous.

*Merci beaucoup à mes chères sœurs **Simochs, Hayat, Houda**, , mes cousins et tous mes amis de toujours **Cham, Narimane, Hassiba, Imane, Ilham, Manel, Amira, Tata, sira, Hadjer, Ibtissam, Macha** pour leur soutien continu à mon égard. Merci à tous.*

amira

Dédicaces

Louange à Dieu tout-puissant qui m'a permis de voir ce jour tant attendu.

Je dédie cet humble travail :

*A mon cher père **BOUBALASKA MESSAOUD** tu as toujours été pour moi un exemple de père respecté et honnête, une personne minutieuse, que je chéris je tiens à te remercier pour ton amour, ton soutien et la confiance que tu m'ont donné durant ces années d'études, une vie longue et heureuse.*

A ma chère maman, qui n'a cessé de prier pour moi, tous mes remerciements et toute ma gratitude pour votre soutien spirituel et moral et vos précieux conseils afin d'atteindre mes objectifs.

A mon grand-père, que Dieu lui fasse miséricorde et qu'il repose en paix. C'est ma profonde gratitude pour votre amour éternel. Que ce souvenir soit le plus beau cadeau que je puisse vous faire.

À tous mes frères et sœurs et à toute ma famille qui m'ont soutenu et encouragé durant mon parcours universitaire. Que Dieu tout-puissant vous bénisse et vous accorde santé et bonheur.

*Mes chères amies **Ibtissam, Lamia, Hassiba** et **Amira** sont une mention spéciale pour ma nièce **Retadj**. Je ne trouve pas les mots justes et honnêtes pour exprimer mon amour et ma gratitude, vous êtes mes sœurs et mes amies sur lesquelles je peux compter.*

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à rendre ce travail possible, je dis merci.

Hassiba

Dédicace

Dieu soit loué, pour celui qui m'a aidé et ma donné la force d'atteindre cette joie aujourd'hui, et je suis bien parmi mes proches et ma famille, je leur dédie cet humble travail.

*A ma première motivation tout au long de mon parcours académique, à mon soutien indéfectible, et à celui qui ma amené à ce jour avec le grisonnement de la tête, mon cher père, **Abd el Malek Bounour**.*

*A qui était le paradis sous ses pieds, ma chère mère, **Nora Bounour**, et tous mes frères, **Hana Mouhamad Wail**, **Hanane**, et mes yeux **Anas** et **Abd el-Rahman**. A ma famille ainée, la famille de mon père, la famille de ma mère, et toute la chère **famille Bounour**.*

*A mes amies **Zahra** et **Salma**.*

Mouna

Résumé

Le district mercuriel d'Azzaba peut être considéré comme l'anomalie géochimique de mercure la plus importante en Afrique du nord.

La mine de mercure d'Ismail est une mine abandonnée qui n'a pas été restaurée depuis 2005, et elle est localisée à la Daïra de Azzaba, Wilaya de Skikda. La zone minière est encore polluée à ce jour.

Notre travail a pour but de développer un inventaire de la pollution afin de dévaluer le degré, la distribution et les sources de pollution.

Les résultats montrent que ce site est responsable de la pollution environnementale de la région d'Azzaba, à cause du sulfure de mercure. Sa transmission à longue distance dans l'atmosphère, sa persistance dans l'environnement (eau, sol, plantes et même air), le potentiel de bioaccumulation dans les écosystèmes, et sa contribution aux autres dérivés du mercure. A des effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine. La présence du mercure dans les matrices environnementales est souvent occasionnée par les activités anthropiques notamment l'agriculture, l'élevage, l'industrie et le transport.

Mots clés : Mercure, environnement, pollution, mine d'Ismail, Azzaba

Abstaract

The Mercury zone in Azzaba can be considered the most important geochemical anomaly of Mercury in North Africa.

The Ismail Mercury Mine is an abandoned mine that has not been restored since 2005, located in the Azzaba district of Skikda governorate.

The mining area remains polluted to this day. Our work aims to develop a pollution inventory to estimate the degree, distribution and sources of pollution.

The results showed that the site is responsible for the environmental pollution in the Azzaba area due to mercury sulfide. Its long-range transmission in the atmosphere, its persistence in the environment (water, soil, plants and even air), the potential for bioaccumulation in ecosystems, and its contribution to other mercury derivatives. It has harmful effects on the environment and human health. The presence of mercury in environmental matrices often results from human activities including agriculture, livestock, industry, and transportation.

Keywords: mercury, environment, pollution, Ismail mine, Azzaba

ملخص

ميكّن اعتبار منطقة الزّنبق يف عزابة أهم شردوذ جيلوييمياءي للزّنبق يف مشال إفريقيا.

منجم الزّنبق إمسايل منجم مهجور مل يتم ترميمه منذ 2005, ويقع يف دائرة عزابة بولية سكيكدة.

منطقة التعدين ال تزال ملوثة حت يومنا هذا.

يهدف عملنا إكل تطوير قائمة جرد التلوث لتقدير درجة وتوزيع ومصادر التلوث. و

أظهرت النتائج أن الملوقع مسؤول عن التلوث البيئي يف منطقة عزابة بسبب كربينيد الزّنبق. انتقاله يعيد الإيدى يف الغالف اجلوي, وثباته يف البيئية (إملاء والرربة والنباتات وحت اهلاء), وإمكانية الرتكّم الأحيائي يف الرظم البيكولوجية, و مساهمته يف مشتقات الزّنبق الأخرى. هلا أثار ضارة على البيئية وصرحة الإنسان غالبا ما كنتج وجود الزّنبق يف المصفوفات البيئية عن الأنشطة البشرية بما يف ذلك الزراعة والثروة احيوائية والصناعة والنقل الكلمات المفتاحية: الزّنبق, بيئية, تلوث, منجم, امسايل, عزابة.

Sommaire

Résumé

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I : Généralité sur le mercure.....	
I.1- Définition du mercure	02
I. 2- Concentration du mercure dans les différents milieux	03
I.2-1-Notion de bioconcentration.....	03
I. 2-2-Concentration du mercure dans l'air, l'eau et les aliments.....	05
I.3-Toxicité du mercure	09
I.3-1-Effet du mercure sur l'homme	09
I.3-2-Les effet du mercure sur les plantes	11
Chapitre II : Matériels et méthodes	
II.1-Présentation de la zone d'étude.....	13
II.1-1-Situation géographiques	13
II.1-2-Données climatologiques.....	14
II.1-3-Géologie.....	16
II.2-Principe de fonctionnement de l'usine d'Ismail	17

II.2-1- Présentation de l'usine de mercure	17
II.2-2-Rejets final	22
II.3- Démarche d'étude.....	24
Chapitre III : Résultat et discussions	
III.1- Mesures et analyses de l'impact de l'exploitation de mercure sur le milieu	28
III.1-1- L'impact sur le sol	28
III.1-2- L'impact sur les sédiments	30
III.1-3- L'impact sur les eaux	32
III.1-4- L'impact sur l'air	36
III.1-5- L'impact sur la biocénose	38
III.1.6- L'impact sur la santé	39
III.2- Méthode de gestion	43
Conclusion	46
Références bibliographiques.....	48

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Le mercure	2
Figure 2. Le cinabre	3
Figure 3. Disponibilité et bioaccumulation Figure du Hg et du MeHg dans les milieux aquatiques et terrestres (Gras et Mondain., 1981)	5
Figure 04. Photos aériennes du site et des carrières (Bakri., 2021)	14
Figure 05. Bande transporteuse reliant le concasseur à la trémie d'alimentation des fours	18
Figure 06. Déchargement des fours (scories)	19
Figure 07. à gauche : condenseurs et goulotte de récupération du mercure. A droite : cheminée.	20
Figure 08. Unité de traitement du mercure	21
Figure 09. Schéma de la chaîne technologique du complexe industriel d'Ismail et des rejets générés (Ghioua., 2011)	23
Figure 10. L'entrée de complexe mercuriel d'Ismail (sortie du 11 Avril 2022)	24
Figure 11. Mémorial de l'inauguration du bateau mercurey à Azzaba (le 20 Juin 1972 par le président Houari Boumediene et son homologue cubain Fidel Castro) (sortie du 11 Avril 2022)	25
Figure 12. Le bâtiment d'administration de complexe mercuriel d'Ismail (sortie du 11 Avril 2022)	25
Figure 13. Les trémies d'alimentation (sortie du 11 Avril 2022)	26
Figure 14. Fûts contenant des échantillons de sol avant extraction du mercure (sortie du 11 Avril 2022)	26

Figure 15. Bassin d'évacuation d'eau chaude de la refroidissement des machines (sortie du 11 Avril 2022)	27
Figure 16. Des tonnes des terrils déversés derrière le mur de la mine (sortie du 11 Avril 2022)	27
Figure 17. Distribution spatial et temporelle d'Hg dans les sols selon les études précédentes (Seklaoui., 2018)	30
Figure 18. Distribution des teneurs d'Hg total dans les eaux (SP=Seuil de potabilité ; SI=Seuil d'irrigation) (Seklaoui., 2018)	32
Figure 19. Distribution spatial et temporelle d'Hg dans les eaux de surface selon les études précédent (Seklaoui., 2018)	34
Figure 20. Résultat d'analyse d'Hg dans l'air (khalifi ; 1992)(Seklaoui., 2018)	37
Figure 21. Exemple de variation spatio-temporelle des concentrations en Hg dans les Lichens de la région d'Azzaba (Alouia;Maizi ;N, et al .2008) . (Seklaoui., 2018)	39
Figure 22. Variation spatial de l'Hg sanguin dans les cordons ombilicaux d'Azzaba selon la distance du site de pollution (complexe industriel) (Djafer R et al ,2017) (Seklaoui., 2018)	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01: Teneurs en mercure dans l'atmosphère (Monographie scientifique sur les polluants chimiques, Paris, 1974).	6
Tableau 02 : Teneur en mercure dans les eaux (Giraud et Guillet., 1972)	7
Tableau 03: Comparaison des différentes tenures d'Hg obtenues par les études réalisées sur le sol d'Azzaba. (Seklaoui., 2018)	29
Tableau 04 : Variation des concentrations d'Hg dans les sédiments d'Azzaba selon les différents auteurs (Seklaoui., 2018)	31
Tableau 05 : comparaison locale des teneurs d'Hg dans les eaux de surface (Seklaoui, 2018).	33
Tableau 06 : comparaison locale des teneurs d'Hg dans les eaux souterraines (Seklaoui, 2018)	35
Tableau 07 : Hg urinaire inorganique en $\mu\text{g} / \text{gde}$ créatinine chez les travailleurs de l'usine, les écoliers d'Azzaba et d'Annaba (Seklaoui., 2018)	41
Tableau 08 : concentration sanguines d'Hg en $\mu\text{g}/\text{l}$ chez les travailleurs de l'usine, les habitants d'Azzaba et de constantine (Seklaoui., 2018)	41

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Les ressources minérales sont exploitées depuis l'Antiquité, L'exploitation du mercure est reconnue depuis l'époque romaine mais son exploitation existe depuis plus de trois décennies. La zone de mercure d'Azzaba dans le nord-est de l'Algérie peut être considérée comme l'anomalie géochimique la plus importante d'Afrique du Nord. Composés de plusieurs gisements de mercure (Hg) présentant à la fois une diversité structurale et compositionnelle, ils partagent une phylogénie partielle mineure avec le cinabre (HgS) comme minerai principal, associé à d'autres minéraux sulfurés.

Son développement soulève de nombreux défis, dont la préservation de l'environnement. Surtout dans le cas des mines abandonnées dont le minerai principal est le métal. Le mercure et les autres métaux associés principalement, libérés de la source de production par dispersion dans l'air et l'eau, et leurs dépôts dans le sol et les sédiments, provoquent une pollution généralisée, surtout si les terres environnantes sont agricoles.

Cette pollution ne dépend pas seulement de sources humaines, mais peut également dépendre de sources naturelles. Cela a conduit à la fermeture de la mine d'Azzaba en 2005, mais sa fermeture n'a pas permis de limiter la propagation de la pollution dans la zone d'Azzaba.

L'objectif principal de notre travail est d'étudier les impacts des rejets de l'ancienne mine de mercure (Azzaba) sur l'environnement, l'étendue de sa propagation et ses dangers, à travers des sorties de terrain et étude de l'état des lieux ainsi que sur l'appui des résultats des études antérieures, dont les plus importantes sont :

- Thèse de ALIOUA Amel (Détection de la pollution mercurielle dans la région de Azzaba à l'aide de bioaccumulateurs).
- Thèse de SEKLAOUI M'hamed (Étude environnementale de la pollution minière du district mercuriel d'Azzaba) Où nous sommes parvenus à plusieurs résultats, dont le plus important est une pollution importante au mercure qui comprenait tous les niveaux de l'écosystème.

Pour cela notre travail a été structuré en trois grandes parties :

- La première partie, comprend des Généralités sur le mercure (Définition du mercure, Concentration du mercure dans les différents milieux, Toxicité du mercure).
- La deuxième partie Matériel et méthode où nous avons Présenté la zone d'étude et le Principe de fonctionnement de l'usine d'Ismail
- et enfin la troisième partie Résultats et la discussion où nous avons présenté les principaux impacts de l'exploitation de mercure sur les différents milieux de l'environnement ainsi que les méthodes de gestion).

CHAPITRE I
Généralité sur le mercure

I. Généralité sur le mercure

I. 1. Définition de mercure

Comme le cadmium, le zinc et le plomb, le mercure est un élément naturel et un «métal lourd» et peut être toxique pour les organismes vivants (Anonyme, 01). Le mercure est l'élément chimique de numéro atomique 80, de symbole Hg. C'est un métal argenté brillant (Fig.1) (Anonyme, 02) d'une densité de 13,6, le seul métal se présentant sous forme liquide dans les conditions normales de température et de pression, il se volatilise vers 350°C. Son clarké dans l'écorce terrestre est de l'ordre de 0,08 g/t (il est aussi présent en très faible quantité dans l'atmosphère étant donné sa relative volatilité).

Très utilisé dans le passé pour l'amalgamation de l'or et de l'argent, le mercure trouve maintenant sa principale application dans les cellules électrolytiques (pour la production du chlore et de la soude caustique) ainsi que dans l'industrie électrique (en particulier, dans certains types de batteries). Il est également utilisé comme catalyseur dans la fabrication des plastiques et résines, dans de nombreux instruments de mesure et enfin il entre dans la composition de certaines peintures «antifouling», de nombreux composés pharmaceutiques et de certains fongicides utilisés en agriculture.

Il est essentiellement associé au soufre et il est exploité notamment sous forme de minéral individualisé (cinabreHg). (Meftah., 2012)



Figure 1. Le mercure

Chapitre I: Généralité sur le mercure

Le cinabre (HgS) (Fig. 2) est le minerais de mercure le plus répandu et exploité. Lors des derniers millénaires, le cinabre présent dans les gisements a été utilisé soit comme pigment, après extraction dans une veine pure, soit pour en extraire le mercure par décomposition thermique. (Anonyme, 02)



Figure 2. Le cinabre

I.2- Concentration du mercure dans les différents milieux

I.2-1-Notion de bioconcentration

Les organomercuriels, notamment le méthyle mercure, ont fortement tendance à s'accumuler dans les organismes vivants .Le méthyle-mercure est très bien absorbé à travers les membranes biologiques. Chez les mammifères, l'absorption du méthyle mercure est plus importante aux niveaux trophiques supérieurs des chaînes alimentaires naturelles.

- Dans les chaînes alimentaires terrestres, le méthyle mercure est principalement du à l'usage des fongicides poules traitement des graines de semence (D'itri, 1972). Les graines sont consommées par les oiseaux et les rongeurs granivores, ces derniers étant souvent, eux même, la proie de gros oiseaux prédateurs.

Chapitre I: Généralité sur le mercure

- L'accumulation du composé de méthyle mercure dans les chaînes alimentaires aquatiques est beaucoup plus complexe que celle des chaînes terrestres.

Après s'être diffusé dans l'eau à partir de la particule sédimentaire, le méthyle mercure s'accumule rapidement dans les organismes vivants, végétaux et animaux qui possédant des membranes permettant un échange gazeux avec leur environnement aquatique (Gavis et Ferguson, 1973).

Cette accumulation s'explique par un processus en trois étapes :

- Accumulation par la faune profonde à proximité des couches sédimentaires actives où se forme le méthyle mercure.
- Accumulation chez les petits poissons conciliateurs de plancton.
- Accumulation chez les gros prédateurs (Ferguson et Larson, 1977).

Chez les très gros prédateurs marins (Espadon, Thon) on a retrouvé des taux remarquablement élevés de mercure, imputables à plusieurs facteurs.

* Ces poissons sont de gros carnivores se trouvent à l'extrémité d'une chaîne alimentaire.

* Ils ont une longévité plus grande que d'autres espèces.

* Ce sont des poissons très actifs.

* En raison de leur activité, de grandes quantités d'eau de mer traversent les membranes de leurs ouïes.

L'accumulation du mercure dans les chaînes alimentaires terrestres et aquatiques (Fig. 3) crée des risques pour l'homme surtout lorsqu'il consomme du gibier à plumes dans la région où l'on utilise des fongicides mercuriels ou des poissons issus d'eaux contaminées (Fagestrom et Larson., 1977).

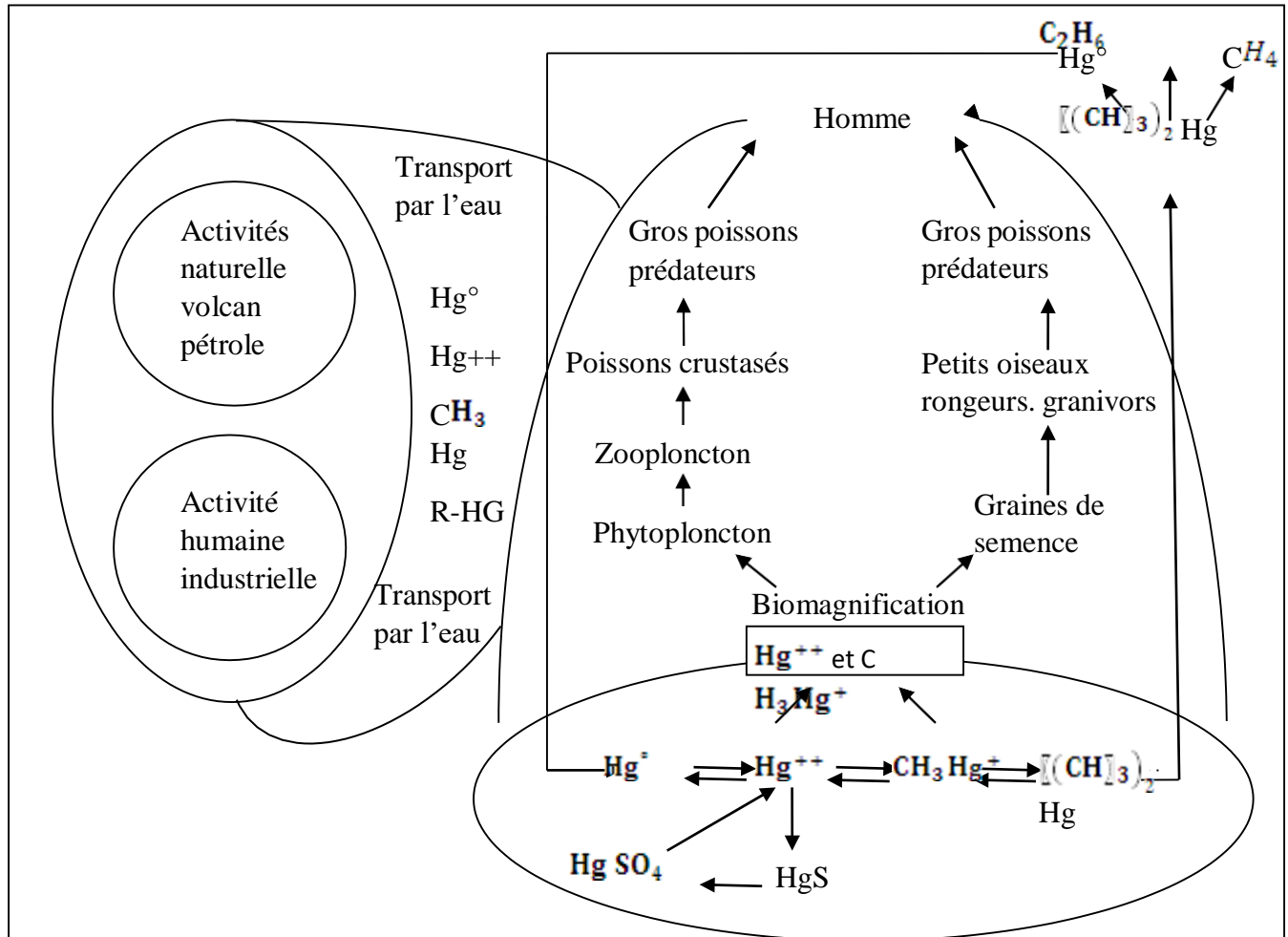


Figure 3. Disponibilité et bioaccumulation Figure du Hg et du MeHg dans les milieux aquatiques et terrestres (Gras et Mondain., 1981)

I.2-2-Concentration du mercure dans l'air, l'eau et les aliments

A/ Concentration du mercure dans l'air

La croissance de l'usage du mercure et de ses composés, fait que de nombreuses études ont été faites pour déterminer les teneurs naturelles et anthropiques des milieux en mercure.

En dépit de la forte pression de vapeur du mercure métal qui s'évapore directement de la surface du sol, en particulier au dessus des gisements riches de ce métal, ses teneurs dans l'atmosphère présentent de faibles valeurs par rapport à celles trouvées dans la lithosphère et l'hydrosphère (Guebli., 1994).

Chapitre I: Généralité sur le mercure

La concentration atmosphérique de mercure total dans les surfaces non polluées est généralement dans une fourchette de 1 à 10 ng/m³ d'air (Schrouder, 1987). Cette concentration a été limitée par STOCK et CUCUEL en 1934 à 20 ng/m³ d'air. Les teneurs minimales ont été rapportées par MccarthyJh (1968) à Denver (U.S.A) à savoir 2 à 5 ng/m³ (OMS., 1977).

La teneur de fond des particules de mercure est de 0.03 ng/m³ (Fukuzak.,Tammura., Hirano et Mizushina., 1969), mais dans les secteurs industriels le taux de mercure en aérosol peut atteindre des valeurs plus élevées: 7,9ng/m³(OMS., 1977).

Le tableau n°1 nous permet d'établir les teneurs en mercure suivant le degré de pollution et dans différentes zones.

Tableau 01 : Teneurs en mercure dans l'atmosphère (Monographie scientifique sur les polluants chimiques, Paris., 1974).

Zone de pollution	Teneur en mercure
* En l'absence de pollution _ au dessus des océans _ au dessus des continents	0,5 à 1,0 ng/m ³
* En présence d'une pollution _ faible ou moyenne (naturelles, industrielle ou urbaine)	10 à 200 ng/m ³
* En présence d'une pollution très forte (mine, ateliers, effluents gazeux industriels)	Quelques centaines µg/m ³

Chapitre I: Généralité sur le mercure

b/ Concentration du mercure dans l'eau

Le mercure présent dans la phase aquatique du milieu naturel provient essentiellement de l'érosion hydrique des sols et de l'atmosphère par le biais des précipitations en plus des effluents mercuriels industriels rejetés dans les cours d'eau, les lacs et enfin la mer.

D'une manière générale, la concentration en mercure dans l'eau est très faible (Tab.2). Le taux normal de mercure dans l'eau est évalué à 0,1 µg/l à l'état dissous et à 0,5 µg/l si l'on considère que le mercure total dans les eaux douces continentales et 0,3 µg/l pour l'eau de mer et cela dans le rapport de l'association française pour l'étude des eaux (Alioua., 1995)

Tableau 02 : Teneur en mercure dans les eaux (Giraud et Guillet., 1972)

Type d'eau ou localisation	Teneurs en Hg
Eaux de pluie, neige	0,05 _ 0,5 ppb
_ Eaux de surface	
_ Non polluées	0,01 _ 0,05 ppb
_ Peu polluées	0,05 _ 0,2 ppb
_ Eaux de surface naturellement polluées	
_ Minéralisées	0,05 _ 2 ppb
_ Au voisinage des gisements	1 _ 150 ppb
_ Eaux de surface moyennement polluées	0,2 _ 1,5 ppb
_ Eaux de surface polluées	1,5 _ 5 ppb

Chapitre I: Généralité sur le mercure

Effluents industriels	
Effluents mercuriels	
_ Avant traitement	Jusqu'à 20 ppm
_ Après traitement	100 _ 500 ppb
Effluents généraux d'usines	50 _ 100 ppb
Canaux industriels	5 _ 50 ppb
_ Eaux souterraines	
_ Non polluées	0,05 ppb
_ Polluées	Quelques ppb
_ A proximité de gisements	1 _ 1000 ppb
_ Eaux des mers et océans	
_ Non polluées	0,01 _ 0,2 ppb
_ Polluées	> 0,2 ppb

c/ Concentration du mercure dans les aliments

L'analyse de près de 1400 denrées alimentaires, abstraction faite de tout poisson, exécutées au Canada en 1970 a montré que les résidus du mercure étaient inférieurs à 60 µg/Kg dans le pain, la farine, les céréales et les œufs et qu'ils étaient au dessous de 40 µg/Kg dans les viandes et les légumes (Somers., 1971). La concentration du mercure chez les poissons est très variable ; en générale, elle dépend de l'endroit, la taille et l'âge du poisson. Selon les rapports de Peterson(1973) et Bouquiauk (1974) ; ces taux de mercure chez la plupart des espèces de poissons de mer sont compris entre 0 et 500 µg/kg net. La majorité des analyses indiquent près de 1600 échantillons. Les exceptions les plus importantes à cette règle sont l'Espadon, le Thon et le Fléau dont la teneur en mercure va généralement de 200 à 1500 µg/Kg (comité FAO/ OMS d'experts des additifs alimentaires, 1978).

I.3 -Toxicité du mercure

Le mercure et ses dérivés peuvent s'accumuler dans tout l'organisme jusqu'à l'apparition de phénomènes de toxicité qui peuvent être réversibles ou irréversibles selon la dose appliquées et la durée de l'exposition. La toxicité du mercure augmente quand il est méthylé car il devient facilement assimilable par la faune, la flore et l'homme. (Alioua., 1995)

I.3-1-Effet du mercure sur l'homme

Le mercure apparaît comme un puissant neurotoxique et reprotoxique. (Anonyme 03) L'intoxication de l'homme par le mercure et ses composés est appelée hydrargyrisme, (Andlauer., 1975) elle comprend d'une part l'intoxication par le mercure et ses sels minéraux tels que:

-Les sulfures:

-Naturels

-Artificiels vermillon

- Les oxydes

- Les chlorures (Hg_2Cl_2 , HgCl_2)

- Les iodures

- Les nitrates

D'autre part, par les dérivés organiques du mercure ou organomercuriels qui sont surtout utilisés en agriculture pour leurs propriétés fongicides.

Trois cas de figures peuvent se présenter:

- Ingestion ou inhalation accidentelles surtout des organomercuriels (intoxications collectives en Irak, 1956/1969) (Chantal., 1973) réalisant l'intoxication aiguë.

Chapitre I: Généralité sur le mercure

- Consommation de denrées alimentaires contaminées par le mercure surtout les poissons, cas de Minamata(Japon) (Ramade., 1978) réalisent ainsi l'intoxication subaiguë.
- Exposition prolongée aux composés du mercure réalisés surtout dans les circonstances professionnelles et constituant l'immense majorité des intoxications mercurielles, c'est l'intoxication chronique (Andlauer., 1975).

a/ L'intoxication aiguë

Réalisé typiquement une néphrite tubulaire aiguë. Elle se régularise, cependant par l'intensité de ses troubles:

- digestifs : stomatite ulcéro-membraneuse précoce
- absence des oedèmes
- Importance du catabolisme azoté
- Importance du déséquilibre hydro électrolytique.

b/ L'intoxication subaiguë

Se caractérise par:

- Troubles digestifs : stomatite et trouble du transit
- Néphrite tubulaire
- Manifestations cutanées (erythrodermie, démographie)

c/ L'intoxication chronique

C'est la forme la plus caractéristique de l'hydrargyrisme professionnel, se manifestant essentiellement par:

- Des troubles nerveux,

Chapitre I: Généralité sur le mercure

Ce tremblement intentionnel : est le trouble majeur, il est aggravé par la fatigue, les émotions et l'alcool parfois, des troubles psychiques précèdent son apparition. Irritabilité, émotivité, anxiété avec angoisse soudaine et insomnies.

- Des troubles digestifs,

Il s'agit de la stomatite mercurielle chronique avec poussées aiguës possibles. Elle réunit les signes suivants :

* Ptyalismes

* Oreillons mercuriels par hypertrophie des glandes salivaires

* Chute des dents (Alioua., 1995).

I-3-2-Les Effet du mercure sur les plantes

Le mercure peut avoir aussi des effets nuisibles sur les plantes, mais il ne faut pas oublier l'important aspect écologique que représente le passage du mercure d'un maillon à un autre tout le long de la chaîne trophique (Bargagl., 1993).

Le mercure total contenu dans les végétaux est habituellement de 0,1µg/g de poids sec (Linqvsit., 1991).

Les descriptions initiales des effets du mercure sur les plantes se traduisent par les abscissions des feuilles, leur décoloration et l'inhibition de la croissance des jeunes pousses, ceci est la conséquence d'une exposition à des vapeurs de mercure au sein d'un environnement fermé. Des symptômes similaires ont été observés sur la végétation exposée aux éruptions volcaniques.

Gobold et Hutterman (1987/1988) ont décrit le premier effet qui est la perturbation des fonctions racinaires.

A fortes doses, la croissance des racines est inhibée, ce qui affecte l'absorption des nutriments cause probable de la baisse du taux de chlorophylle dans les feuilles.

Chapitre I: Généralité sur le mercure

Le mercure contenu dans le cytoplasme des feuilles semble être insuffisant pour avoir un effet toxique direct sur la synthèse de la chlorophylle.

L'assimilation du CO₂ est réduite, parallèlement à la baisse du taux de chlorophylle quand elle est causée par le mercure inorganique.

L'exposition au méthyle mercure conduit à une réduction supplémentaire de la photosynthèse par unité de chlorophylle et dans ce cas la baisse de la quantité d'eau contenue dans les feuilles affecte également l'assimilation du CO₂. Généralement, (Godbold et Hutterman., 1988) remarquent que les dommages dans les systèmes racinaires sont la cause majeure de la séquence complète des effets nocifs.

La quantité totale du mercure toxique dans les feuilles ne peut être définie car une certaine quantité de ce dernier peut s'accumuler que la surface de la feuille sous une forme nocive.

Dans les expérimentations de Godbold et Hutterman (1988), les effets sont liés aux concentrations de mercure inorganique dans la solution nutritive exogène.

- l'élongation des racines est affectée dès 20 µg/l et complètement stoppée à 1000 µg/l.
- Des effets significatifs sur la photosynthèse ont été observés à 20 µg/l et la nutrition minérale à 2 µg/l.
- Le méthyle mercure a une influence sur les échanges gazeux et la nutrition minérale dès 0,2 µg/l, il a également un effet sur l'équilibre de l'eau à cette concentration. (Alioua., 1995)

CHAPITRE II
Matériels et méthodes

II. Matériel et méthode

II.1-Présentation de la zone d'étude

II.1-1-Situations géographiques

La ville de Azzaba est située au Nord-Est algérien à environ 500Km à l'Est d'Alger. Elle apparaît sous forme d'une dépression dont la plaine est peu ravinée, large de 8km.(Bakri., 2021). Cette dépression se situe entre le flanc sud de Djebel Filfila et le flanc Nord de la chaîne numidique. La zone d'étude se situe dans la zone mercurielle nord numidique. Le district minier mercuriel d'Azzaba est considéré comme le seul existant en Afrique du nord, composé essentiellement par cinq (05) gisements : Ras el maa, Ismail, Mrasma, Guenicha et Fendek (Fig. 4), principalement tous exploités mise à part le gisement de Fendek situé en dessous de l'usine de traitement .La zone de production de mercure et de l'activité minière est juste située à la limite de la ville d'Azzaba :

- Le complexe mercuriel d'Ismail : usine de production de mercure, située à environ 4km au Sud-Ouest de la ville d'Azzaba.
- La mine d'Ismail : localisé à 6km au Sud-Ouest d'Azzaba.
- La mine Guenicha : situé à 4km vers le Sud-Ouest d'Azzaba et à 2km vers le Nord –Est de l'usine de traitement.
- La de Marsma 1et 2 : localisée sur la pente occidentale du mont de Mrasma à 5km au sud-Est d'Azzaba.
- La mine de Ras el Maa : située à 14 Km vers le sud-ouest de la ville d'Azzaba. (Seklaoui., 2018)



Figure 04. Photos aériennes du site et des carrières (Bakri.,2021)

II.1-2- Données climatologiques

La région d’Azzaba jouit d’un climat méditerranéen à subtropical relativement doux. Il est caractérisé par :

- Une saison chaude et sèche s’étalant sur cinq mois environ, de Mai jusqu’à Septembre caractérisée par une température moyenne mensuelle de l’ordre de 23°C. Pendant cette saison des vents chauds (sirocco) arrivaient du Sud.
- Une saison froide et humide qui va d’Octobre jusqu’à Avril, caractérisée par une température moyenne saisonnière de l’ordre de 14°C, avec une précipitation moyenne de l’ordre de 82mm. (Bakri., 2021)

Chapitre II: Matériels et Méthodes

a/ Précipitations – Evaporation

Les précipitations exercent une influence particulière sur le couvert végétal et les sols. Dans une année moyenne, les périodes pluvieuses (précipitation $>$ ou égales à 0,1 mm) varient entre 98 et 122 jour, tandis que les précipitations vont de 606 à 877 mm /an.

La sécheresse couvre la période de juillet à août, mais peut être précoce (mai).L'évaporation est moyenne, de l'ordre de 1350 mm/an, avec une période intense allant de mai à septembre, et août reste le mois à la plus forte évaporation (jusqu'à plus de 180 mm/mois).

b/ Température

Durant la saison froide, qui va de novembre jusqu'à avril, on enregistre des minimums absolu extrêmes de janvier à mars (3,4 à 6,4 °C) et surtout en février (3,4 à 4,9°C).Quant à la saison chaude, qui va d'avril jusqu'à septembre, on enregistre des maximums absolus qui varient de 38°C à 41°C.A noter l'absence de gelée et durant presque tout l'année l'humidité est suffisante (de 62% en juillet à 78% en janvier) pour permettre aux plantes de se développer.

c/ Les vents

Dans la région, les vents dominants soufflent du secteur Nord au Nord-Nord-Ouest. Une dominante secondaire provient du Sud-Ouest, rarement de l'Est. La vitesse moyenne annuelle des vents est de l'ordre de 3,5 m/s. Le nombre de jours de vents violents (Force 20) d'environ 20 jours par an. (Meftah., 2012)

d/ Réseaux hydrographique

Le réseau hydrographique est très dense marquant le trait commun des cours d'eau du littoral Algérien, avec un écoulement superficiel et de courtes durées dû essentiellement à la période pluvieuse.

Le principal cours d'eau traversant la région sont:

➤ **l'Oued Fendek** : qui prend sa source dans les contreforts septentrionaux de la chaîne numidique. Le régime hydrologique de l'Oued Fendek est en fonction de celui des précipitations.

Chapitre II: Matériels et Méthodes

Le débit de l’oued varie de 0.5 - 0.1 litre/seconde en été, jusqu’à quelques dizaines de m³/s, durant les périodes de pluies en hiver. Pendant les années de sécheresse (cela peut se produire quelque années successives), le ruissellement est pratiquement absent pendant 4 à 5 mois d’été, à ses propres affluents :Oued Hamimine, Oued Eladjoul et l’Oued Zebda, ce dernier présente la limite inférieur du complexe mercuriel.

- **L’Oued Adjoul** : qui est le collecteur de plusieurs petits Oueds et qui s’écoule vers le Nord – Est.
- **Oued Zebda** est un affluent d’Oued Fendek se trouvant à environ 450m à côté du complexe mercuriel d’Azzaba.

Ces deux Oueds (fendek, Adjoul) rejoignent l’Oued Mchekel au Nord-Est d’Azzaba. Ils sont caractérisés pendant les périodes sèches, par de minces filets d’eau, alors que lors des saisons pluvieuses, le régime devient turbulent. L’Oued Mchekel s’écoule vers l’Oued Kebir qui se jette dans la mer Méditerranée à l’Est de Skikda (prés de Cap de Fer).

L’Oued Fendek rejoint l’Oued Mchekel au Nord-Est d’Azzaba, qui s’écoule vers l’Oued Kebir qui se jette dans la mer méditerranéenne à l’Est de Skikda (prés de Cap de Fer). (Seklaoui., 2018)

II.1-3-Géologie

La zone mercurifère Nord-Numidique fait partie de la ceinture métallifère Nord-africaine (Maghrébine).Elle a une structure très complexe. Du Nord au Sud on rencontre successivement les affleurements du Socle Kabyle qui sont représentés par des terrains métamorphique, les Flyschs Maurétaniens et Massilens , la Chaîne Calcaire ou Dorsale Kabyle et les bâtis calcaire du môle néritique du Constantinois. La zone Nord-Numidique est constituée, d'une part du para-autochtone de la Dorsale Kabyle , et d'autre part par de nombreuses nappes de charriages qui comportent des fenêtres d'érosion où affleurent des terrains autochtones (Dj.Filfila) (Raoult, 1974, Wildi. 1983). (Mezghache., 1989)

Les corps minéralisés affleurent en surface, la méthode d’exploitation utilisée dans les trois gisements est l’extraction à ciel ouvert, à Guenicha et Mrasma sous forme de fosse circulaire, à Ismail sous flanc de coteau. Les corps minéralisés riches en mercure se présentent en amas

Chapitre II: Matériels et Méthodes

lenticulaires avec des puissances moyennes de 3 mètres couverts par un toit dont l'épaisseur varie entre 10 et 60 m. L'extraction se fait, à l'aide d'explosifs, par creusement de gradins allant de 5 à 8 m de hauteur avec un angle qui varie entre 40° et 50°, selon la nature lithologique et pétrographique des terrains.

Le mercure est extrait à partir du minerai de Cinabre HgSen brisant la liaison covalente existante entre les deux atomes (HgetS) par calcination. En effet, le tout-venant (minerai de cinabre, Tableau 13) après être extrait des mines, il subit plusieurs opérations pour extraire le mercure métallique.

Au niveau de la mine, le minerai est extrait et classé par le géologue selon sa teneur Hg en trois types :

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

Après, il est transporté à l'usine où il suit le reste de traitement selon son type. (Seklaoui, 2018)

II.2-Principe de fonctionnement de l'usine d'Ismail

II.2-1-Présentation de l'usine de mercure

Le complexe de traitement du minerai d'Ismail. (Sulfure de mercure) dans la région d'Azzabaa été créé en 1970 et se classe au deuxième rang mondial après l'Espagne. Le complexe est fermé depuis 2005 en raison de l'épuisement de ses principaux gisements de mercure (gisements d'Ismail, Guenicha et Mrasma), mais le site est toujours responsable de la pollution environnementale de la région d'Azzaba, à cause du sulfure de mercure (Bakri., 2021).

Selon les dires de Mr, Sahnoun chef service de l'environnement urbain et industriel à la direction de l'environnement, l'usine comprend :

- Section de concassage
- Section de grillage

Chapitre II: Matériels et Méthodes

- Section de traitement des stupps et d'épuration des eaux industrielles
- Laboratoire chimique et section de contrôle technique
- Atelier des marques supérieures

a/ Concassage

Le minerai (cinabre) venant de la mine est pesé et réceptionné dans les trémies (trémies de réception) avant sont concassage Le concassage est une opération inévitable et nécessaire pour la mécanisation de l'alimentation des fours en minerai.

- La granulométrie optimale du minerai traité est déterminée en fonction de ses propriétés physique, de la teneur en mercure et du four à alimenter. Le minerai concassé est envoyé par un transporteur à bonde (tapis roulant) vers les trémies d'alimentation des fours (fig. 05) L'alimentateur mécanique l'injecte directement dans le four. (Sahnoun., 2022)



Figure 05. Bande transporteuse reliant le concasseur à la trémie d'alimentation des fours

b/Calcination

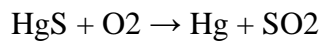
Le minerai concassé est transféré sur la trémie d'alimentation du four utilisé (Fig.06).L'unité

Chapitre II: Matériels et Méthodes

dispose de trois fours qui peuvent fonctionner en parallèle. Les fours 1 et 2 sont du type rotatif à chauffage direct, à contre-courant solide-fumées, tandis que le four 3 est statique et vertical. Le four 3 était destiné au traitement des minerais les plus riches en mercure.

Le solide est porté à une température de 600 à 800 °C pendant un temps de séjour de 45 à 60 minutes (ce temps de séjour est assuré par la vitesse de rotation du four et par son inclinaison de 3°).

Dans les conditions de la calcination, le sulfure de mercure, ou cinabre, est décomposé en mercure métal et SO₂ selon la réaction



Le mercure, sous forme vapeur, est alors entraîné par les effluents gazeux, tandis que la fraction inerte du minerai est extraite du four et constitue les scories (Fig.06)



Figure 06. Déchargement des fours (scories)

c/ Dépoussiérage et condensation

Les gaz sont extraits à 400°C et traversent une batterie de 4 cyclones disposés en parallèle et isolés thermiquement pour éviter toute condensation du mercure ou dépôt de poussières sur les parois.

Un module de 4 autres cyclones est maintenu en réserve pour permettre le nettoyage des premiers. L'opération intervient après 2 à 3 ans de fonctionnement.

Chapitre II: Matériels et Méthodes

Le dépoussiérage du gaz dans les cyclones n'est cependant que partiel, de sorte que des fines subsistent dans le flux gazeux.

La base des cyclones trempe dans l'eau d'une auge où les solides (mercure métal et poussières) se déposent en partie basse. Le liquide surnageant est extrait par débordement dans un caniveau.

Les gaz passent ensuite dans le condenseur composé d'une série d'épingles en acier au titane. Les premières épingles sont refroidies à l'air par convection naturelle, tandis que les dernières sont soumises à un arrosage extérieur à l'eau.

La base des épingles trempe dans le liquide contenu dans une goulotte, de sorte que le mercure condensé est récupéré sous eau avec les poussières en suspension dans la phase aqueuse.

L'extraction du mercure qui s'accumule dans les gouottes intervient une fois par mois pour le four N°1 et 2 fois par mois pour le four N°2.

Les gaz traversent ensuite un scrubber où ils sont lavés par un arrosage à l'eau qui complète la récupération du mercure. Les gaz sont alors extraits à une température de 20 à 30°C par les ventilateurs, puis mis à l'air par une cheminée de 112 m de haut (fig.07)



Figure 07.à gauche : condenseurs et goulotte de récupération du mercure. A droite : cheminée.

d-Extraction de mercure métallique

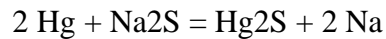
Les auges sont vidées périodiquement par une pompe et expédiées dans deux repulpateurs, disposés en série, où le mélange mercure-boues est brassé mécaniquement pendant 48 heures pour

Chapitre II: Matériels et Méthodes

permettre la coalescence des gouttelettes de mercure et leur extraction des boues. Le mercure est pratiquement totalement récupéré dans le premier repulpeur et transféré sur un filtre puis sur le poste d'embouteillage où il est conditionné en potiches (34,5 kg décontenance) pour expédition. Une fois le mercure soutiré, les boues sont extraites du repulpeur et additionnées de chaux puis laissées sous agitation pour assurer la transformation du sulfure mercurique en mercure métal.



Après arrêt de l'agitation, le mercure métallique formé est extrait dans un bac et transféré manuellement sur le filtre, tandis que les boues sont reprises dans un autre bac et renvoyées à la trémie d'alimentation du calcinateur par un chariot élévateur. La filtration assure la purification du mercure pour le séparer des additions mécaniques afin de ramener sa teneur à 99,99%. Les phases aqueuses surnageant soutirées des repulpeurs sont collectées dans une fosse puis expédiée sur l'épaississeur d'où les boues sont extraites périodiquement (environ une fois tous les 03 mois) et renvoyées sur le four de calcination. Deux épaississeurs sont disposés en parallèle et exploités alternativement : l'un en service pendant que l'autre est vidé et nettoyé. Le liquide traverse ensuite deux bassins en série pour une décantation assistée par un ajout de sulfure de sodium destiné à précipiter, sous forme de sulfure mercurique HgS, les dernières traces du mercure encore présent.



L'usine comprend aussi une installation de raffinage de mercure (bâtiment de la marque supérieure) pour l'obtention d'un métal à 99,999% (mercure à 5 neufs utilisé dans des domaines pointus) dont le conditionnement est assuré dans des flacons à 1Kg et 5Kg.



Figure 08. Unité de traitement du mercure

II.2-2-Rejets final

Les rejets de ce procédé sont :

a/Les rejets solides

Ils résultent de la phase de calcination (scories ou calcine) ou de la boue formée suite à la décantation des eaux industrielles dans les 02 bassins de décantation. Aussi, de la boue fine issue de nettoyage (curage) périodique des auges et caniveaux des eaux industrielles qui sont entreposées en tas dans différents points dans la digue. Parfois, le recyclage des boues dans les répulseurs ne réussit pas vu la grande finesse de matériau, de ce fait il est rejeté en tas dispersé dans la digue à scorie.

b/ Les rejets liquides

Ils sont constitués du liquide extrait des auges sous les condenseurs et du liquide issu de la purification du mercure. L'ensemble est envoyé par un caniveau à ciel ouvert sur le premier bassin à l'extérieur pour être décanté sous forme de boues, les urnageant est transféré, par un autre caniveau ouvert, sur le deuxième bassin d'où il est pompé pour être recyclé encore vers l'usine. Sachant que ces eaux sont traitées comme mentionnés ci-dessus par le sulfure de sodium afin de faire précipiter le mercure sous forme sulfurée.

c/ Les rejets gazeux

Les rejets gazeux sont SO₂, H₂O, poussières, autres éléments gazeux selon la composition du minerai) qui parviennent après la phase de condensation et qui sont rejetées à l'extérieur à travers la cheminée. (Seklaoui., 2018)

Chapitre II: Matériels et Méthodes

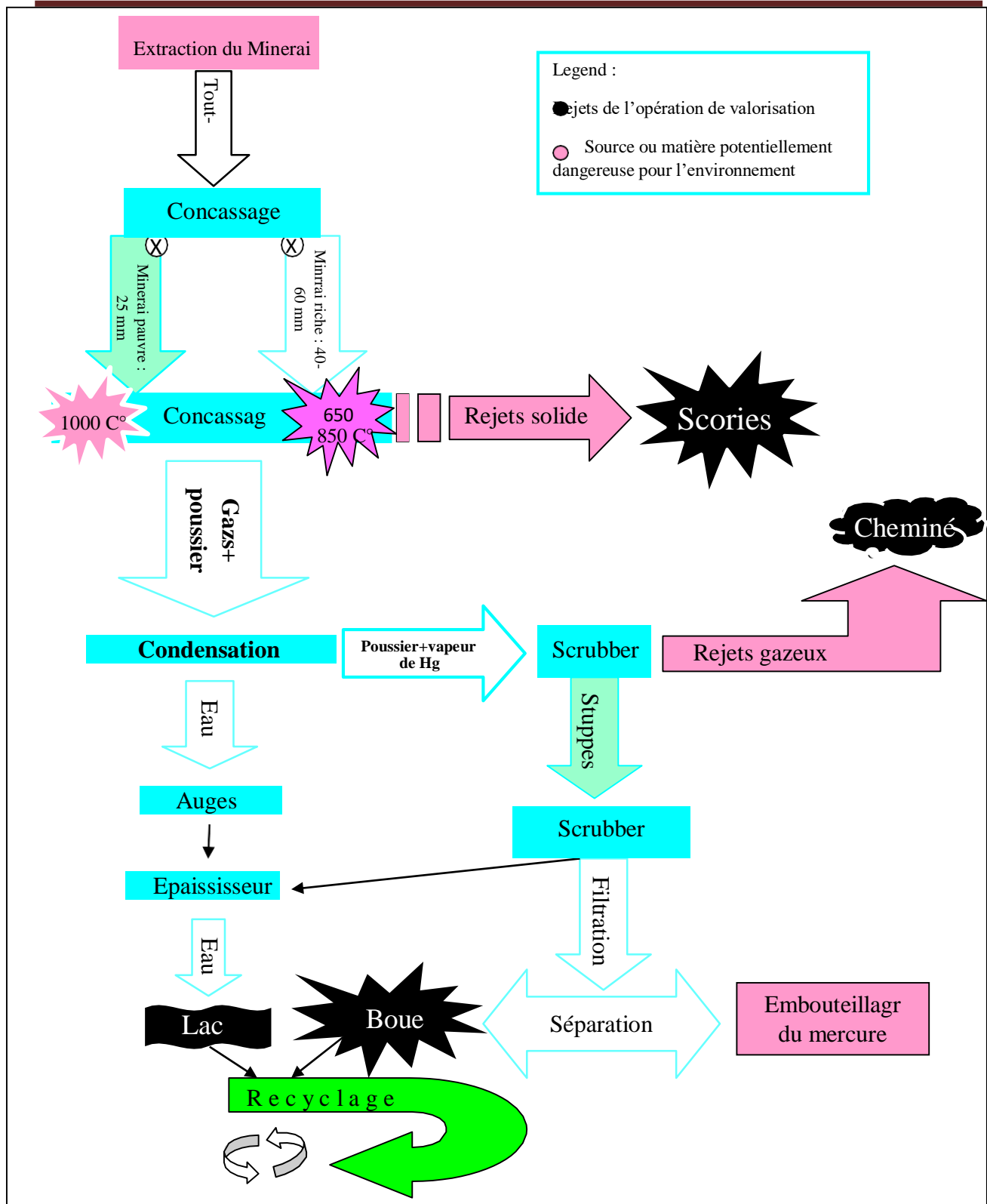


Figure 09. Schéma de la chaîne technologique du complexe industriel d'Ismail et des rejets générés. (Seklaoui., 2018)

II.3-Démarche d'étude

L'inventaire environnemental ou état des lieux correspond à une exploration du paysage, étudier la pollution en tant que facteur écologique particulier dans l'écosystème considéré et d'analyse d'autre facteur écologique de cet écosystème, a fin de dégager des mesures de traitement de quelques cause du déséquilibre écologique de celui-ci (Benedrardji., 1999).

Nous avons fait des sorties sur terrain afin d'effectuer des observations et des enquêtes sur les rapports entre le complexe mercuriel d'Azzaba et son environnement. La collecte des résultat set des données a été effectué grâce à des données (thèse et mémoire) de chercheurs qui ont travaillé sur la pollution mercurielle des eaux de surface, de l'air on des sols dans la region d'Azzaba.



Figure 10. L'entrée de complexe mercuriel d'Ismail (sortie du 11 Avril 2022)



Figure 11. Mémorial de l'inauguration du bateau mercurey à Azzaba (le 20 Juin 1972 par le président Houari Boumediene et son homologue cubain Fidel Castro) (sortie du 11Avril 2022)



Figure 12. Le bâtiment d'administration de complexe mercuriel d'Ismail (sortie du 11Avril 2022)



Figure 13. Les trémies d'alimentation (sortie du 11Avril 2022)



Figure 14. Fûts contenant des échantillons de sol avant extraction du mercure (sortie du 11Avril 2022)



Figure 15. Bassin d'évacuation d'eau chaude de la refroidissement des machine (sortie du 11 Avril 2022)



Figure 16. Des tonnes des terrils déversés derrière le mur de la mine (sortie du 11 Avril 2022)

Chapitre III
Résultats et discussion

III. Résultat et discussions

III.1-Mesures et analyses de l'impact de l'exploitation de mercure sur le milieu

Les opérations d'extraction et de traitement de mercure génèrent plusieurs déchets dans l'environnement. L'impact varie selon le mode d'exploitation et de traitement. En effet, les exploitations à ciel ouvert, génèrent une grande quantité de stériles, de poussières et d'eaux contaminées par l'Hg.

Le procédé de traitement du mercure génère des rejets de tous types : atmosphérique, à travers les cheminées et dont les gaz sont riches en particules de mercure qui sont transportées sur des distances lointaines, et liquides, dans les eaux de purification et de condensation des vapeurs d'Hg et solides, principalement sous forme de déchets de calcination. Les phases d'Hg les plus solubles sont rencontrées dans les rejets de ces procédés, ce qui les rend plus polluants et plus toxiques (Tersic et al., 2011).

III.1-1-L'impacte sur le sol

Dans la dépression d'Azzaba, le mercure se concentre le plus dans la couche du sol située entre 0 et 20 cm de profondeur (Amara, 1992). Mais, sa concentration la plus élevée est détectée entre 0 et 10 cm de profondeur (Benalia, et Redjili, 1994). Cependant, sa teneur peut être moins importante dans la partie la plus superficielle (0 à 10cm) que dans la partie sous-jacente (10 à 20 cm). Ceci peut s'expliquer partiellement par les pertes de cet élément qui sont susceptibles de s'effectuer à la première partie, par volatilisation.

L'accumulation de mercure dans l'horizon de surface des sols de cette dépression peut être expliquée comme suit:

- Le sulfure mercurique est pratiquement insoluble dans des conditions de pH voisines de la neutralité (celles de cet horizon). Il ne peut donc migrer dans les couches profondes.
- Le mercure métallique serait retenu grâce à la richesse de l'horizon en matières organiques, car la liaison «carbone-mercure » est en général chimiquement stable.

Même si l'acidité de cet horizon provoque l'ionisation de ce mercure, les matières organiques favoriseraient par leur électronégativité la rétention des ions formés. (Bendaradji., 1999)

Chapitre III: Résultat et discussions

Les études réalisées (Tifouti 1993, Benalia & Redjili 1994, Alligui 2011, kahoul 2014) sur le sol focalisés sur la distribution spatiale de mercure sur une échelle régionale dans la plaine d'Azzaba. Ces études indiquent principalement des résultats communs, le mercure est le plus concentré dans les sols aux alentours de complexe industriel (2 - 51 ppm) pour diminuer brusquement à l'état de trace à une certaine distance (> 300 m). Les concentrations à l'intérieur du complexe dépassent les 1000 ppm (Seklaoui., 2018). Une différence dans la proportion des teneurs est observée sur l'échelle régionale dont les valeurs sont plus élevées (1,5 à 5 ppm) à l'époque où l'usine était en activité (Tifouti 1993., Benalia & Redjili., 1994) qu'après la fermeture (teneurs à l'ordre de ppb) (Alligui 2011., Kahoul., 2014). Cette différence peut être due aussi à la précision ou non des appareils utilisés dans l'analyse d'Hg. Vu que certains échantillons ont des concentrations inexplicables contrairement aux concentrations présentes (ex : teneur à l'état de trace à proximité directe des scories).

Les teneurs obtenus par Seklaoui, 2018 dans les sols à l'intérieur du complexe industriel (114 – 11238 ppm), sur une médiane de 745 ppm sont similaires à ceux obtenus par la seule étude réalisée par le ministère de l'environnement (Meat., 2007). Par contre, sur une échelle régionale, les résultats obtenus par (Seklaoui., 2018) (0,6 – 280ppm) sur une médiane de 13 ppm sont plus proches des résultats obtenus sur l'usine en plaine activité (Tifouti., 1993 ; Benalia et al 1994) que ceux après sa fermeture (Alligui et al 2011; Kahoul et al 2014) dont les teneurs sont plus faibles. Ces derniers ont une maille d'échantillonnage plus large, ce qui peut expliquer cette différence (Seklaoui., 2018)

Tableau 03: Comparaison des différentes tenures d'Hg obtenues par les études réalisées sur le sol d'Azzaba. (Seklaoui., 2018)

Sol –Hg (ppm)	Marge	Moyenne	Médiane
(Tifouti.,1993 ;Benalia.,1994)	1,5-21,25	8,571	5,3
(Alligui.,2011)	1,09-2,125	0,673	0,530
(Kahoul.,2014)	0-51	7	0
(Saklaoui., 2018)(sol de complexe)	114-11238	1834	745
(Saklaoui., 2018) (sol de lointain)	0,6-280	40	13

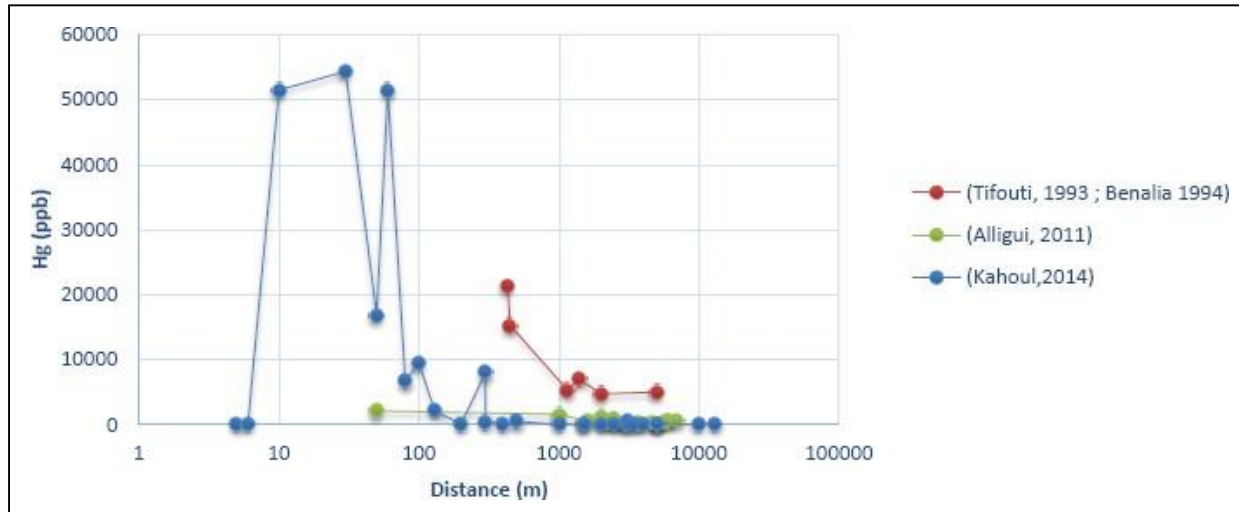


Figure 17. Distribution spatiale et temporelle d’Hg dans les sol selon les étude précédentes (Seklaoui., 2018)

III.1-2-L’impacte sur les sédiments

Le mercure contenu dans de l’oued Ain zebda, celui qui renferment les eaux drainées à partir de la mine d’Ismail ou d’autres mines et une quantité de cet élément apportée par les eaux de lessivage des sols viennent contaminer l’Oued El Fendeck.

Le pH de l’eau de l’Oued El Fendeck varie de 7 à 8,5 (Zouaghi, 1992). Ces valeurs de pH favorisent la précipitation du sulfure mercurique.

En effet, comme les autres sulfures de métaux lourds, il est pratiquement insoluble dans des conditions de pH voisines de la neutralité.

Durant la période pluvieuse, les oueds relativement importants se caractérisent en général par une richesse assez considérable en débris minéraux et organique provenant des sols des bassins versants. Ces débris se déposent en partie au fond de l’eau où ils se forment une vase, d’autres restent en suspension dans la phase aqueuse.

Les matières organiques des sédiments aquatiques fixent le mercure (Kudo et *al*, 1978).

Une certaine quantité du mercure apporté dans un oued, peut donc être bloquée dans les sédiments du fond (la vase) et une autre peut rester dans l’eau, fixé sur les matières organiques non déposées.

Chapitre III: Résultat et discussions

L'ion mercurique, bien qu'il soit soluble dans l'eau, peut s'adsorber pour 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.

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

Par conséquent, 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. En fait, la fraction de mercure immobilisée dans la vase est susceptible d'être remise en suspension et en solution, à cause notamment des perturbations de la vase par des actions diverses:

- En hiver, le mercure déposé est mobilisé suite à l'augmentation de l'intensité d'agitation des courants d'eau.
- En été, les étendues d'eau qui résistent à la sécheresse, au fond du lit de cet Oued, sont calmes; ce qui favorise l'immobilité du mercure déposé. Cependant, l'opération de pompage des eaux d'irrigation à partir de ces petites nappes, entraîne le retour de cette fraction de mercure dans l'eau. (Bendaradji., 1999)

Les travaux traitant les sédiments comme un aspect secondaire (Kahoul 2008, Benhamza 2008) ont présenté des concentrations en Hg variables dont les plus élevées sont prélevées dans les échantillons à proximité immédiats de complexe industriel (entre 5 et 16ppm, Meat 2007). La variation des teneurs, quoique les prélèvements aient eu lieu dans les mêmes conditions : (0 – 65 ppm, Benhamza 2008) et (0 – 1,32 ppm, Kahoul 2010), peut être expliqués comme pour le cas des sols, probablement par la non précision des appareils de mesures d'Hg. (Seklaoui., 2018)

Tableau 04 : Variation des concentrations d'Hg dans les sédiments d'Azzaba selon les différents auteurs (Seklaoui., 2018)

Sédiment - Hg (ppb)	Marge	Moyenne	Médiane
(Benhamza., 2011)	0 – 65 000	10 210	22 000
(Kahoul., 2014)	0 – 1 320	213	0

III.1-3-Impact sur les eaux

L'eau est un compartiment très important vu qu'il est un vecteur et réservoir en même temps des éléments traces métalliques. Sa contamination influe principalement sur la toxicité des différents êtres vivants soit directement par consommation (potabilité) ou indirectement à travers les sols et les plantes irrigués. Les eaux caractérisées sont celles des sources de pollution à savoir : les eaux des deux bassins de décantation à l'intérieur du complexe, et celles des lacs formés dans les fosses des trois mines. Les eaux des deux oueds (Fendek et zebda) considérés comme vecteurs et réservoir des métaux ont aussi été évaluées sur les limites de l'activité de production d'Hg. Les puits et les sources d'eau ont été caractérisés d'une manière à cerner les eaux souterraines des trois nappes probablement recevant une éventuelle contamination par l'Hg. (Seklaoui., 2018).

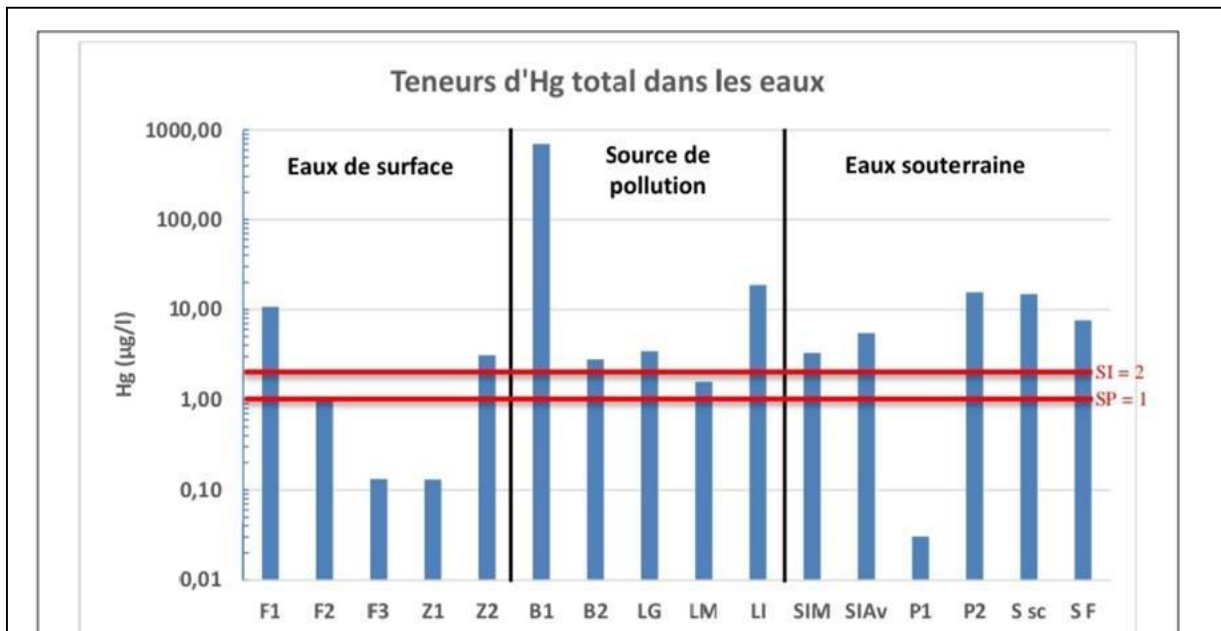


Figure 18. Distribution des teneurs d'Hg total dans les eaux (SP=Seuil de potabilité ; SI=Seuil d'irrigation) (Seklaoui.,2018)

a- L'impact sur les eaux de surface

D'après les résultats des études spatio-temporelles (Benedradji, 1999. L'ayant A, 2004 ; Benhamza , 2008 ; Djendli A , 2011 ; Haouili et Al , 2014) réalisés sur les eaux de l'oued fendek et Zebda entourant la zone minière d'Azzaba. Il est clair que les concentrations en Hg, malgré une certaine variabilité entre les différentes études, elles diminuent progressivement en s'éloignant des sources

Chapitre III: Résultat et discussions

de pollution mercurielle, ainsi qu'en diminuant considérablement de puis l'arrêt de l'activité minière pour atteindre parfois des valeurs inférieures aux normes internationales.

Concernant les eaux des lacs de décantation et ceux des lacs formés dans les carrières abandonnées, les teneurs en Hg sont restées élevées et dépassent largement les normes de consommation.

Tableau 05 : comparaison locale des teneurs d'Hg dans les eaux de surface (Seklaoui., 2018).

	Seklaoui 2018	Kharici 2014	Djendli 2011	Benhamza 2008	MEA T 2007	Layat 2004	Khalfi; Tifouti 92
Bassin industriel N02(O)	702,65	–	–	258	750	–	2310
bassin industriel N01 (E)	2,78	–	–		97	–	224
Ismail	18,77	–	–	–	7,2	–	–
Guenicha	3,44	–	–	–	38	–	–
Mrasma	1,57	–	–	–	1,35	–	–
Oued Zebda	0,13 - 3,10	–	–	–	–	–	2,25 – 96
Oued Fendek	0,13 - 10,7	0,4 - 0,85	9 - 50	–	6,4	91 – 113	0,5 – 5

Les sources liquides de pollution (bassins industriels) ont montré toujours des teneurs maximales en Hg, dont l'apogée est enregistré lors de l'activité de production 2310 µg/l (Tifouti et Khalfi 1992/1993). Dans les eaux de mines, évaluées que par l'étude de (Seklaoui., 2018) et le ministère de l'Environnement (Meat., 2007), l'ordre de concentration est différent, les eaux de Guenicha sont les plus polluées (38µg/l). À Mrasma, les teneurs sont similaires. Les teneurs à l'oued Zebda étaient plus chargées lors de l'activité de production (2,25 – 96 µg/l) qu'après fermeture (0,13 – 3,10 µg/l). Une variation des résultats est enregistrée entre les études précédentes pour le cas de l'oued Fendek. Cette variation peut être expliquée par les lieux d'échantillonnage serrés (Layat 2004 ; Djendli 2011) autour des sources de pollution ou plus large (Tifouti et Khalfi 1992). Néanmoins, la comparaison entre la majorité des études (cette étude ; Kharici et al 2014 ; Djendli

Chapitre III: Résultat et discussions

et *al*2011 ; Meat 2007 ; Layat et *al* 2004) a montré une diminution progressive des teneurs dans les points de prélèvement similaires (Seklaoui., 2018).

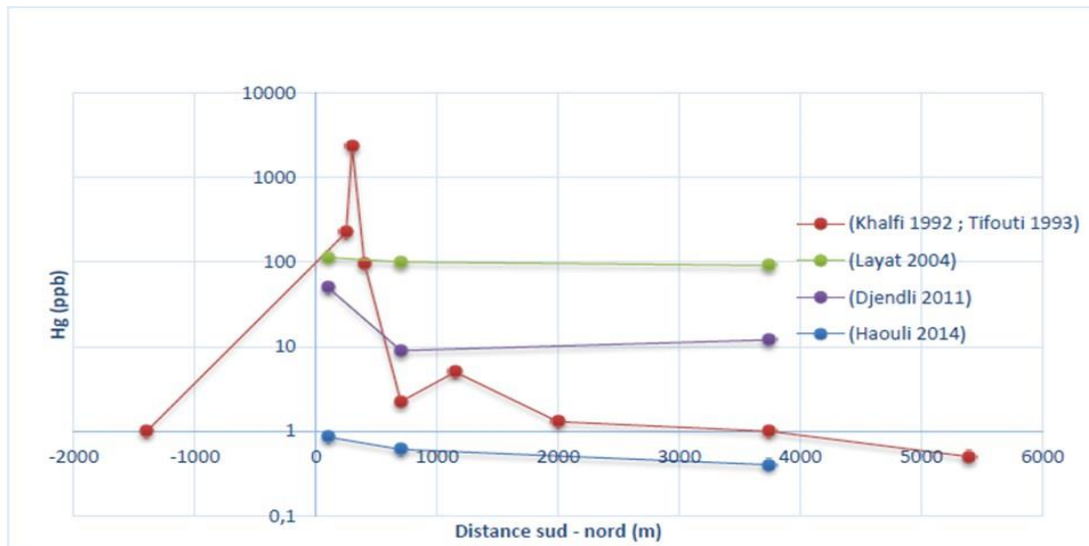


Figure 19. distribution spatiale et temporelle d’Hg dans les eaux de surface selon le sécteur précédent (Seklaoui., 2018)

b-L’impact sur les eaux souterraines

Les eaux de la nappe aquifère quaternaire à Azzaba sont les plus caractérisées par les études universitaire (L'ayant, 2004 ; alligui, 2011 ; Haouili, 2014). C'est n'est pas seulement parce qu'elles sont les plus accessibles pour les prélèvements (puits) mais aussi, pour leur large consommation. Les résultats ont montré que les teneurs en Hg ont été très élevées (jusqu'à 400 ppb ; Alligui , 2011) et dépassent toutes les normes sur une étendue large de la plaine de Azzaba. Cela a duré jusqu'à même six ans après l'arrêt de l'activités minière ; les résultats les plus récents (kherice , 2014) ont indiqué une diminution brutale des concentrations (<1ug/l) et même à la limite immédiate de complexe industriel. La distribution spatiale est aléatoire, dont certains puits plus lointains des sources de pollution mercurielle ont les valeurs les plus élevées (Alligui , 2011), ce qui a été expliqué par une origine de pollution plus géogénique pour les puits lointains (riche en sulfate) qui anthropogénique dont l'effet est immédiate juste à la limite directe de complexe industriel.

Chapitre III: Résultat et discussions

Tableau 06 : comparaison locale des teneurs d’Hg dans les eaux souterraines (Seklaoui., 2018)

Eaux souterraines - Hg (ppb)	Marge	Moyenne	Médiane	Commentaire
(Sonarem, 1988 ;Benhamza ,2008)	4-80	47	50	Nappe oligocène
	1-80	15	6,5	Nappe éocène
(Layat, 2004)	113-142	124	117	Nappe quaternaire
(Alligui,2011)	0-400	160	150	Nappe quaternaire – échan2009
(Djendli ,2011)	45-110	85	102	Nappe quaternaire
(Kharici, 2014)	0,46-0,96	0,64	0,5	Nappe quaternaire
(Seklaoui,2018)	0,03	0,03	0,03	Nappe quaternaire
	14 ,85-15 ,48	15 ,16	15,17	Nappe oligocène
	3,28-7 ,58	5 ,44	5,46	Nappe éocène

Les eaux prélevées dans les puits caractérisant la nappe quaternaire ont montré une diminution significative dans le temps, d’une moyenne de 124 – 160 $\mu\text{g/l}$ avant 2010 (Alligui et al 2009 ; Layat et al 2004) à inférieur à 1 $\mu\text{g/l}$ en 2014 et 2016 (Seklaoui ,2018 ; Kharici, 2014), et même à proximité directe du complexe industriel. La pente faible et l’effet de dilution des eaux météoriques, considérée comme principale recharge de nappes superficielles, peut être probablement la cause de cette diminution dans le temps. Par contre, la nappe oligocène, située directement en dessous du complexe industriel, et évalués précédemment par plusieurs forages (Sonarem, 1988), les teneurs de l’étude de Seklaoui,2018 (moy = 15,16 $\mu\text{g/l}$) se trouvent dans la même marge des évaluations précédentes (4 – 80 $\mu\text{g/l}$), dont l’origine est expliquée par l’infiltration des particules mercurielles depuis l’usine.

Les études de (Seklaoui., 2018) montrent que la nappe éocène présente une teneur moyenne de 5,46 $\mu\text{g/l}$ similaire à ce qu’a été trouvé auparavant (moy = 6,5 $\mu\text{g/l}$) (Benhamza 2008 ; Sonarem 1988). Vu la distribution large de ces teneurs dans cette nappe, depuis la mine d’Ismail en amont (SIM=3,28 $\mu\text{g/l}$) jusqu’à proximité du complexe (SF = 7,58 $\mu\text{g/l}$), l’origine de ces concentrations

Chapitre III: Résultat et discussions

n'est que naturelle, sachant que des réserves géologiques importantes (Gisement de Fendek) non exploitées baignent toujours dans cette nappe. (Seklaoui., 2018)

III.1-4-L'impacte sur l'air

Le Mercure émis dans l'air au niveau du complexe existe à l'état particulaire et sous forme de vapeur. Le mercure particulaire correspond à des poussières de minerai et surtout celles de scories:

1) Les poussières de minerai s'échappent dans l'air lors du déchargement des camions transporteurs du. D'autres sont perdues le long de la chaîne de production du mercure. Ces poussières contiennent de sulfure mercurique.

2) Les poussières de scories sont dispersées surtout à partir de la décharge. En fait, lorsque les scories sont refroidies et desséchées, elles émettent des poussières, sous l'influence des vents. Ces poussières renferment du mercure métallique.

La vapeur de mercure se rapporte:

1) Au mercure métallique vaporisé que contient la fumée évacuée à travers la cheminée : Cette fumée est composée de gaz de combustion (notamment SO), de gaz issus d'autres réactions chimiques et de la vapeur d'eau, et inévitablement de la vapeur de mercure. Malgré le traitement par arrosage, une certaine quantité de vapeur de mercure est évacuée dans l'air, par la cheminée; ce qui est évident, car l'arrosage ne peut être efficace à cent pour cent.

2) A celui dégagé à partir de la décharge : Les scories sortent du four très chaude (avec une température pouvant atteindre 300 C°).Après leur sortie, elles sont immédiatement chargées dans un camion qui les transporte jusqu'à la décharge ou elles sont déposées.

Dès leur contact avec l'air ambiant, elles commencent à se refroidir. Au cours de leur refroidissement, elles dégagent des fumées. Ces fumées auraient une certaine charge en mercure métallique vaporisé.

3) A celui qui peut être perdu le long de la chaîne technologique suite à des fuites gazeuses qui peuvent avoir lieu au niveau des appareils (Benderradji ;1999).

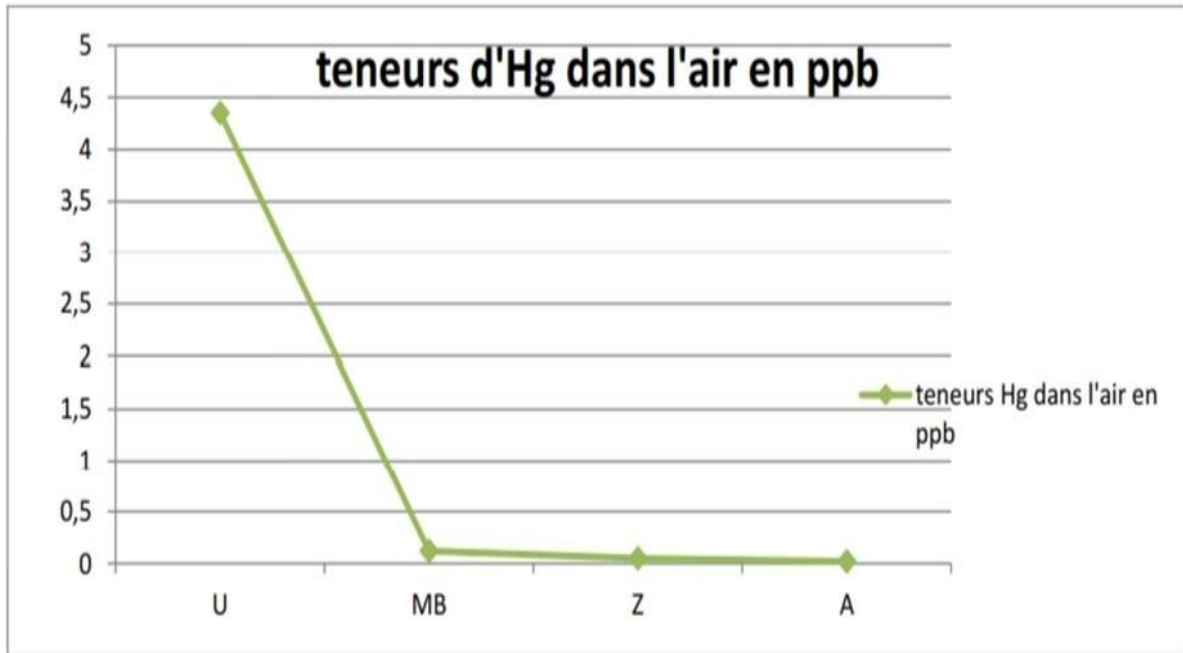


Figure 20. Résultat d'analyse d'Hg dans l'air (Khalifi., 1992) (Seklaoui.,2018)

L'analyse de mercure dans l'air a été réalisée par Khalifi (université de Batna) en 1992 lorsque le complexe et les mines de mercure étaient en pleine activité. L'étude s'est focalisée sur la dispersion spatiale de mercure particulaire (vapeur en ppb) dans l'usine et dans la direction des vents dominants, vers le nord et le nord-est, sur une distance de 05 Km (Menzel Bendiche – Zouia – Azzaba). Les sources d'émissions considérées sont :

- Le mercure métallique vaporisé que contient la fumée évacuée à travers la cheminée.
- Le mercure dégagé à partir de la décharge des scories.
- Le mercure perdu le long de la chaîne technologique suite à des fuites gazeuses. Les résultats ont montré que les teneurs en Hg dans l'air sont plus importantes sur le site de l'usine (4.35 ppb) pour diminuer considérablement ($< 0,15$ ppb) sur le trajet analysé de moins en moins. Vu la densité particulière des particules de mercure, alors ne peuvent pas être transportés plus loin, ce qui fait qu'elles se déposent sur les zones les plus proches. (Seklaoui.,2018)

III.1-5-Impact sur La biocénose

a- L'impact sur La faune

D'une manière générale, les organismes peuvent être facilement contaminés dans l'environnement immédiat de l'emplacement du complexe, car le biotope est plus pollué dans cet endroit.

La forte pollution des eaux de surface, notamment au voisinage du complexe représente aussi une menace pour le bétail qu'on abreuve dans les oueds Ain Zebda et El Fendek.

La présence de mercure en quantité considérable dans les sols de la plaine d'Azzaba constitue un danger pour les organismes. Ils peuvent être facilement contaminés directement (végétaux) ou indirectement (animaux) et finir par être victimes de l'intoxication par cet élément. En effet, une certaine portion de la quantité du mercure métallique qui arrive aux sols peut se solubiliser dans la solution du sol. Cette solubilisation serait plus facile dans la plaine, car le drainage par ruissellement y est très faible.

Par l'intermédiaire de cette solution, le mercure passe dans l'organisme végétal par voie racinaire. Ainsi, les plantes peuvent être contaminées à partir de sol.

En conséquence, le bétail peut être contaminé par le biais des herbes pâturées surtout dans les environs de complexe ou des forages cultivés dans le voisinage de celui-ci. Enfin, l'homme peut se faire contaminer en consommant des produits agricoles (végétaux ou animaux; contaminés). (Benderradji., 1999).

b- L'impact sur la flore

La pollution par l'Hg, comme présentée par les auteurs précédents, des différents ensembles dans la région d'Azzaba risquent d'affecter les plantes et les cultures existantes, soit par l'irrigation en utilisant les eaux polluées et/ou par l'absorption d'Hg émis dans l'air. En effet, Les espèces végétales analysées (les lichens, les cyprès, les casuarinas et les oliviers) considérés comme des bio-indicateurs de la pollution mercurielle (Alouia A., Maizi N., et al. 2008) 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 dans la même direction des vents. En s'éloignant de la zone mercurielle l'accumulation diminue ; ceci est considéré comme une preuve que la contamination

Chapitre III: Résultat et discussions

et la bioaccumulation de mercure dans les espèces végétales sont liées directement à l'activité minière. (Seklaoui.,2018)

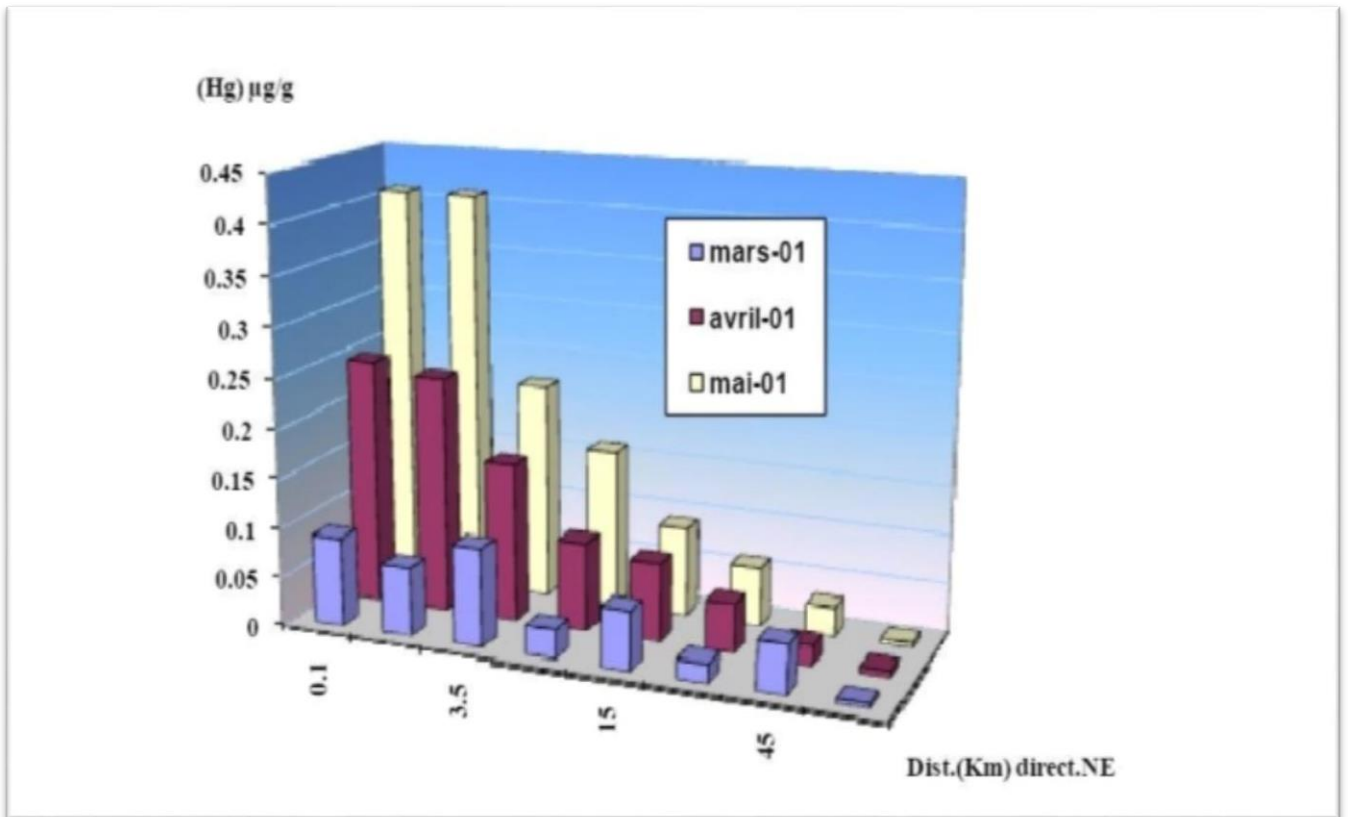


Figure 21. Exemple de variation spatio-temporelle des concentrations en Hg dans les Lichens de la région d’Azzaba (Alouia .,Maizi .,N, et al .2008) . (Seklaoui.,2018)

III.1-6-Impact sur la santé

Le mercure pose une multitude de risques pour la santé humaine, aussi bien sous sa forme élémentaire que sous ses formes plus toxiques comme le méthylmercure. Le régime alimentaire est la première source de contamination par le méthylmercure, surtout s'il comprend du poisson. Actuellement, un grand nombre d'avis en matière de consommation de poisson émis au Canada sont imputables au mercure (Anonyme 04)

Le méthylmercure est une puissante neurotoxine qui est facilement absorbée et traverse la barrière hémato-encéphalique pour se diffuser ensuite dans le système nerveux central auquel elle nuit (Santé Canada, 2004, 2007; PNUE, 2002).

Chapitre III: Résultat et discussions

La situation sanitaire au voisinage de l'usine d'Ismail a montré que depuis le début des activités d'extraction et de traitement du mercure, dans les années 70, et connaissant le risque de maladie professionnelle engendrée par l'inhalation des vapeurs de mercure et classée au tableau des maladies professionnelles, l'entreprise ENOF avait décidé de créer un service de médecine du travail pour la prise en charge des travailleurs.

Malgré les moyens de protection collective et individuelle utilisés, le risque de maladie professionnelle n'était pas écarté et tout le personnel exerçant dans la zone d'exposition était un personnel à haut risque : les services les plus exposés étaient ceux de l'usine de traitement, ainsi que certains postes dont l'exposition était indirect. Le personnel restant, bien qu'il n'était pas ouvertement exposé, n'était pas hors de risque.

Durant la dernière décennie d'activité, la surveillance médicale et les résultats obtenus avaient permis de recenser des postes particulièrement exposés au risque professionnel, auxquels un intérêt particulier a été accordé.

D'une façon globale, les stigmates de la maladie professionnelle étaient retrouvés chez environ la moitié de la population exposée, ce qui attestait de l'importance de l'exposition et du risque professionnel.

Il fallait également signaler le non respect, par insouciance, du port des moyens de protection individuelle de la part des travailleurs exposés, ce qui ne faisait qu'amplifier le risque d'intoxication.

Pour le contrôle toxicologique, les prélèvements de sang et d'urine se faisaient au niveau de l'unité et les dosages étaient effectués soit au Laboratoire de toxicologie du CHU de Constantine, soit au Laboratoire de toxicologie du complexe d'ISPAT (Ex-SIDER) d'Annaba , à la charge de l'employeur ENOF .(Meftah., 2012)

Plusieurs études d'ordres sanitaire ont été réalisées sur la population au temps de l'activité et après. En 1995, l'Hg urinaire inorganique de créatinine chez les travailleurs de l'usine (Tableau 07) est de l'ordre 650 µg/g, la moyenne chez les élèves d'Azzaba est de l'ordre de 2,49 µg/g contre 0,45 µg/g de ceux d'Annaba à 80 Km (Nezzal et al, 1996). Des symptômes liés à la contamination mercurielle correspondant à des signes cliniques (tremblement, test à l'écriture, épreuve doigt nez), n'apparaissent d'habitude qu'à des taux de Hg supérieures à 50µg/g de créatine inexistantes

Chapitre III: Résultat et discussions

chez les élèves d'Annaba, sont quand même marqués chez ceux d'Azzaba, et plus visible chez les travailleurs de l'usine (Nezzal et al 1996 ; Benhamza et al 2006) (Seklaoui., 2018)

Tableau 07 : Hg urinaire inorganique en μg / gde créatinine chez les travailleurs de l'usine, les écoliers d'Azzaba et d'Annaba (Seklaoui., 2018)

Hg urinaire $\mu\text{g/g}$	Marge	Moyenne	Auteur
Travailleures (Azzaba)	2-13924	650	Nezzal et al 1996 ; Benhamza et al 2006
Elèves (Azzaba)	0-17	2,49	
Elèves (Annaba)	0-4	0,45	

Tableau 08 : consocontration sanguines d'Hg en $\mu\text{g/l}$ chez les travailleurs de l'usine, les habitants d'Azzaba et de constantine (Seklaoui, 2018)

Consocontrations sanguines Hg ($\mu\text{g/l}$)	Marge	Moyenne	Médiane	Auteurs
Usine de tratiement	0-200	53,9	27,75	Megueddem 2004
Habitants Azzaba	0-30	14,18	14	
Habitants Constontine	0-20	2,92	0	

Les concentrations sanguines évoluent dans le même sens que les concentrations urinaires. En 2001, les travailleurs de l'usine intervenant directement dans le processus ont une concentration sanguine moyenne de 53.9 μg Hg/L (Megueddem., 2004) ; la valeur maximale tolérée est de 15 μg Hg/L (Lauwerys., 2000). La population à Azzaba a présenté des concentrations sanguines d'une moyenne de 14,18 μg Hg/l contre 2,9 μg Hg/l sur des échantillons de sang d'un groupe de populations habitant à 100 Km (Consatntine) ; ceci a été expliqué par la consommation de produits alimentaires contaminés par le mercure à Azzaba. (Seklaoui.,2018)

Les plus vulnérables aux effets du mercure sont :

- Les femmes qui consomment des quantités importantes de grands poissons tout au long de la grossesse et de la lactation, ainsi que leurs foutus et, plus tard, leurs nourrissons.

Chapitre III: Résultat et discussions

- Les enfants, qui se contaminent au mercure de plusieurs façons (habitude de porter à la bouche des objets contaminés et de la terre) et que leur métabolisme rapide rend particulièrement vulnérables. De plus, les organes immatures des enfants ont du mal à éliminer le mercure, et leur résistance aux effets neurologiques du méthylmercure est faible. (Anonyme 02) Chez les femmes enceintes, cette neurotoxine traverse le placenta, pénètre dans le corps du fœtus et s'accumule dans son cerveau et d'autres tissus. Elle peut aussi se transmettre au nourrisson par l'allaitement (Santé Canada, 2004, 2007; PNUE, 2002).

Le méthylmercure est particulièrement nuisible à la croissance des nourrissons et des jeunes enfants, que leur système nerveux en plein développement rend particulièrement vulnérables (Santé Canada, 2004, 2007; PNUE, 2002).

En 2013, presque une décennie après l'arrêt de l'activité, une étude (Djafer R et al, 2017) est réalisée sur l'imprégnation mercurielle des nouveau-nés à Azzaba par le dosage du mercure total dans le sang de leur cordon ombilical et leur comparaison avec un groupe de témoin à Constantine (Fig 22) ; le résultat diffère significativement entre les deux groupes, les concentrations à Azzaba sont plus élevées d'environ 10 fois que ceux de Constantine (2,32 contre 0,2 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$). (Seklaoui.,2018)

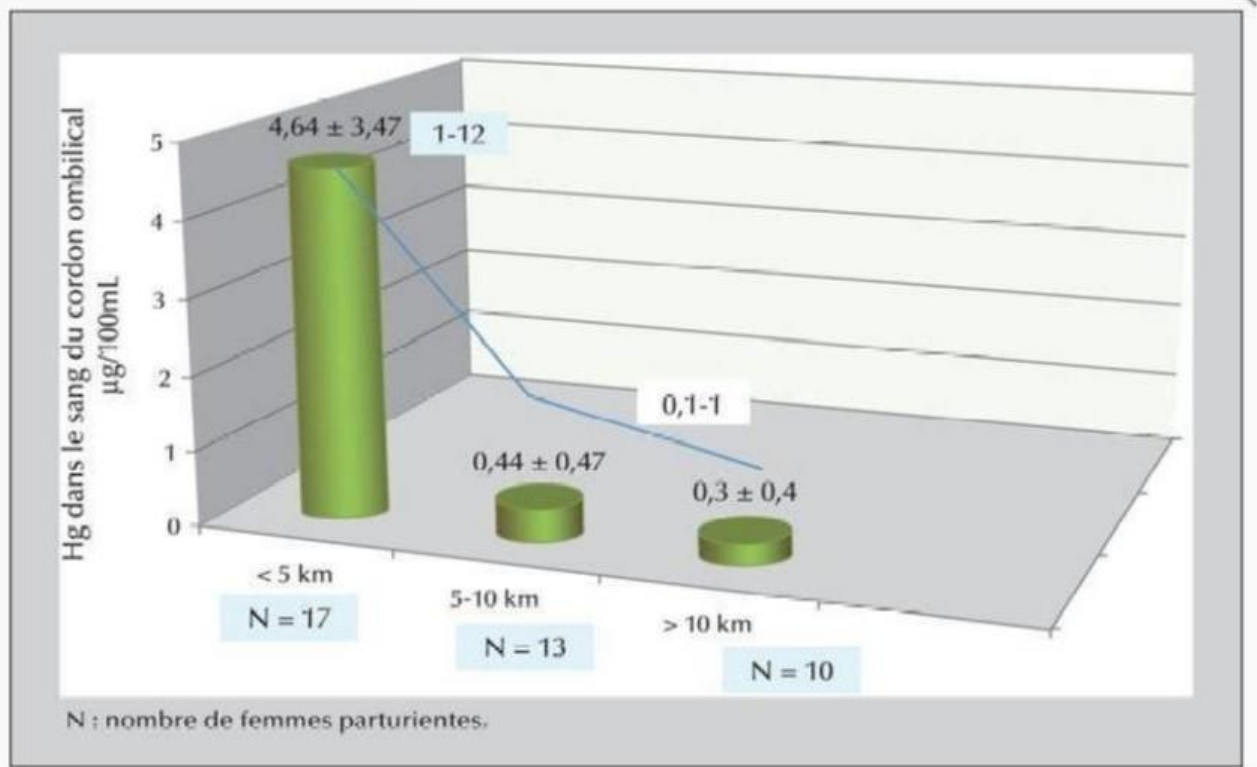


Figure 22. variation spatiale de l'Hg sanguin dans les cordons ombilicaux d'Azzaba selon la distance du site de pollution (complexe industriel) (Djafer R et al ,2017) (Seklaoui.,2018)

III.2- Les Méthode de gestion

Pour réduire les risques de pollution au mercure, de nombreuses études ont cherché des solutions pour limiter sa propagation et ses effets négatifs sur l'homme et l'environnement. Parmi les études les plus importantes qui ont trouvé de bonnes solutions pour gérer la pollution au mercure, nous citons dans nos recherches :

1- Les bactéries

Quelque 6000 tonnes de mercure sont rejetées chaque année dans l'environnement par les industries chimiques et minières, polluant eaux et sols, selon le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE). Ce métal, qui peut s'intégrer à la chaîne alimentaire, est très toxique, surtout sous la forme de méthylmercure, pour l'homme et l'animal. Oscar Ruiz et ses collègues de l'Université interaméricaine de Puerto Rico voient dans les bactéries transgéniques qu'ils ont créées «une alternative» aux coûteuses techniques actuelles de dépollution. Capables de proliférer dans

Chapitre III: Résultat et discussions

une solution contenant 24 fois la dose mortelle de mercure pour des bactéries non-résistantes, les souches transgéniques ont pu absorber en cinq jours 80% du mercure se trouvant dans le liquide, selon une étude publiée à Londres par BMC Biotechnology, revue scientifique accessible gratuitement sur internet. Les bactéries *Escherichia coli* ont été rendues résistantes à de fortes concentrations de mercure grâce à l'insertion d'un gène leur permettant de produire de la métallothionéine, une protéine jouant un rôle de détoxification de l'organisme chez la souris. Espoirs pour la dépollution des sols Elles se sont avérées près de deux fois plus résistantes au mercure que d'autres souches que l'équipe avait dotées du gène de l'enzyme polyphosphate kinase. Il s'agit, selon les chercheurs, de la «première étude» montrant que la métallothionéine «assure une résistance au mercure et permet son accumulation dans la bactérie» qui l'absorbe. Le mercure récupéré par les bactéries dans les zones polluées pourrait être réutilisé dans de nouvelles applications industrielles, selon l'équipe scientifique. Les bactéries transgéniques ayant montré, lors de l'étude, qu'elles pouvaient retirer le mercure d'un liquide, «la première et principale application pourrait être de récupérer le mercure dans l'eau et d'autres liquides», a précisé à l'AFP M. Ruiz lors d'un échange par mail. Il serait aussi «moins perturbant pour l'environnement», car la dépollution pourrait être réalisée sur place, sans devoir déplacer les énormes quantités d'eau polluée. «Dans l'approche que nous envisageons, l'eau peut être pompée in situ dans des colonnes contenant la bactérie modifiée et, une fois nettoyée, l'eau peut retourner sur le site entraînant le minimum de perturbation pour l'écosystème», explique M. Ruiz. Quant aux bactéries transgéniques utilisées, elles sont «sans danger», assure-t-il, et seraient confinées dans les «colonnes de filtration ou bioréacteurs sans pouvoir être relâchées dans l'environnement» (Anonyme 05).

2- la phytoremédiation

La phytoremédiation c'est utilisé des plantes pour décontaminer les sols, l'eau ou même l'air, et préserver les nappes phréatiques et la chaîne alimentaire de manière biologique. Le traitement permet de décontaminer toutes sortes de surfaces, mais on traite surtout des terrains industriels abandonnés, pour ensuite réutiliser un espace qui serait sinon resté stérile.

Dans le cas de la zone d'étude, et selon la recherche bibliographique menée auparavant, on propose l'utilisation de la technique de la revégétalisation du site abandonné.

Chapitre III: Résultat et discussions

Pour ce faire, une étude a été faite par (Bakri, 2021) sur une plante aux vertus dépolluantes, qui est la menthe aquatique.

Pour révéler les pouvoirs dépolluants de la menthe aquatique dans la préservation de l'eau des rivières, Klorane Botanical Fondation (fondation d'entreprise qui œuvre pour la protection et la valorisation du patrimoine végétal) s'engage dans un projet innovant et inspirant dans les Cévennes, avec le Laboratoire de Chimie Bio-inspirée et d'Innovations écologiques. Ils se sont ainsi associés afin de trouver la méthode la plus efficace pour filtrer l'eau polluée avec de la menthe aquatique, pour ouvrir le pas à de nouvelles méthodes naturelles de dépollution de l'environnement. Les études ont alors prouvé que les racines de cette plante avaient un haut pouvoir de captation des métaux lourds. Après cette découverte en laboratoire, direction les Cévennes pour un test grandeur nature dans la vallée de la Vis, où la rivière est polluée par des métaux lourds en raison du passé minier de la région. Les métaux lourds captés par la plante grâce à un processus exclusif de recyclage écologique, l'éco catalyse. Plus concrètement, les racines de la menthe aquatique sont séchées et broyées pour fabriquer de grands filtres naturels, sous forme de colonnes. Ils sont disposés en amont de la rivière afin que l'eau puisse s'écouler au travers de ces filtres. Des plants de menthe aquatique vivante sont également installés en aval dans un bassin pour filtrer d'éventuels métaux lourds résiduels (Bakri, 2021).

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Dans l'étude que nous avons menée, qui portait sur l'étude d'impact des rejets de l'ancienne mine de mercure (Azzaba) sur l'environnement, et avec les sorties du terrain que nous avons menées et à l'utilisation d'études antérieures sur le sujet, nous avons constaté que malgré la fermeture de cette mine depuis 2005, ses impacts existent toujours et cela par ce que la fermeture a été effectuée sans aucune mesure de dépollution, et qui touchait tous les niveaux de l'écosystème et avait un impact :

Sur les sols et les sédiments : à travers les terrils, les particules de mercure qui sont restées dispersées dans diverses parties de la mine d'Ismail, qui se sont ensuite propagées en raison de facteurs climatiques et de conditions géologiques dans diverses parties de la région, qui affectent ensuite les organismes vivants lorsqu'ils s'infiltrent dans les légumes et les fruits cultivés dans des zones polluées. et les sols toxiques.

Sur l'eau: La pollution des sols entraîne une pollution de l'eau, comme nous l'avons mentionné précédemment, en raison de facteurs naturels, le mercure est transmis et répandu dans le milieu, dont le plus important est la pluie, qui contribue de manière significative à l'érosion, ruissellement et lessivage du mercure en surface, dans le sol et les sédiments, ainsi qu'à l'intérieur de terre va dans les égouts et les vallées et pollue fortement les eaux souterraines, polluant ainsi l'eau potable, car ces polluants atteignent les plantes, puis le bétail et les humains après les avoir mangés, et cela signifie qu'ils contribuent à polluer la chaîne alimentaire de l'homme.

Sur l'air : par le mercure émis par l'usine sous forme de vapeur, car le mercure dans ce cas reste longtemps dans l'air et voyage sur de longues distances ainsi que par le cycle de l'eau dans la nature et avec l'évaporation de l'eau contaminée par le mercure, ainsi que le facteur vent qui contribue également au transfert du mercure du sol vers l'atmosphère et l'air devient pollué.

Sur la faune et la flore :

- la flore : à travers le sol ou irrigation avec pollué l'eau, ainsi que l'absorption de l'air pollué
- la faune: sont complétés en étant une source de menace pour sa sécurité par le bruit ... ainsi que le fait que le mercure s'accumule et se déplace dans la chaîne alimentaire.

Sur la santé humaine:

- les travailleurs: tous étaient auparavant exposés à des problèmes de santé majeurs qui ont coûté la vie à nombre d'entre eux, et dont certains souffrent encore à ce jour (cancers, maladies de peau...).
- les habitants :où la pollution des différents éléments de milieu (eau, air, plante, poisson...) les êtres humains sont touchés et ce impact s'est étendu aux gènes, comme il a été constaté à travers l'études du cordon ombilical des nouveau-nés de la région de Azzaba qu'ils naissent avec un taux plus élevé de mercure que l'état normal.

Conclusion

Cependant, les dernières études de la région ont enregistré une diminution du pourcentage de pollution qu'auparavant, et afin de réduire davantage cette pollution, nous avons inclus quelques solutions qui ont été prouvées par certaines études, qui sont : Les bactéries et la phytoremédiation.

Référence bibliographique

1. Alioua A., Maizi, N. (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.
2. Alioua., 1995- Détection de la pollution mercurielle dans la région de Azzaba (Algerie orientale) à l'aide de bioaccumulateurs (Xanthoria parietina , Olea europea , Cupressus sempervirens, Casuarina equisetifolia et triticumdurum).
3. Alligui F., (2011) - Dispersion géochimique Naturelle et Artificielle du mercure dans la région de Azzaba – W. de Skikda – et son impact sur l'environnement - Thèse de doctorat – USTHB
4. Andlauer p., 1975 - L'exercice de la médecine du travail – ed. FLAMMARION, 627 p ;pp 237-238.
5. Anonyme 01 : Governemant de canada., 2013- En ligne, <https://www.canada.ca/fr.html>
6. Anonyme 02 : [http://www.physique-et-matiere.com/mercure_\(chimie\).php](http://www.physique-et-matiere.com/mercure_(chimie).php).
7. Anonyme 03 : https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Mercure_natif.
8. Anonyme 04: https://www.ec.gc.ca/doc/mercure-mercury/1241/index_f.htm.
9. Anonyme 05 : <https://www.lapresse.ca/sciences/genetique/201108/17/01-4426634-des-bacteries-pour-lutter-contre-la-pollution-au-mercure.php>.
10. Bakri C., 2021- La place de la phytoremédiation dans les technique de dépollution des sols de l'ancienne mine de mercure d'Azzaba (Utilisation de la Menthe Aquatique).
11. Bargagli R., 1993- Plants as bromonitors indicators for heavy metals in the terrestrial environment (ed.) by Bernd Market. Weinhein New York, Basel, Cambridge.
12. Benalia L, Redjli M., (1994) - Contribution à l'étude de l'influence de mercure sur les abondances des micro-arthropodes du sol dans la région de Azzaba. Mémoire d'ingénieur de l'université de Constantine.
13. Benderradji M. E. H. (1999)- Quelques indices d'appréciation de la pollution mercurifere dans le milieu eco-geographique de la depressionde Azzaba-Nord Est Algerien. Observatorio Medioambiental, 2, 191-215.
14. Benhamza M., Kherici, N., Picard-Bonnaud, F., & Nezzal, A. (2008). Qualité des eaux souterraines de la zone mercurielle nord numidique (Azzaba), nord est Algérie. Evalution de la contamination de la population par le mercure inorganique. Bulletin du Service Géologique National, 19(2), 135-149.
15. Billen G., 1973- Etude de l'ecométabolisme du mercure dans un milieu d'eau douce. Hydrobiol. Vol. 7. N.°2.
16. Bouquiaux J., 1974 - Proceedings of the international symposium. Probleme of contamination of man and bis environment by mercury and cadmium Luxembourg, 3 - 5, July 1953, p 23.

17. Chantal D.G., 1973 - Répartition de chlorure de mercure et de chlorure de méthyl mercure dans un écosystème aquatique simplifié. Thèse de 3^{ème} cycle. Université de Grenoble, Faculté des sciences, 60 p.
18. D'itri F.M., 1972 - The environnementale mercury problem cleveland, chemical Rubber Co, p 69.
19. Djafer, R., Megueddem, M., Alamir, B. (2017) - Évaluation de l'imprégnation mercurielle chez les nouveau-nés dans la région d'Azzaba (Algérie). Environnement, Risques & Santé V16 – N°02. P170 – P177. Doi : 10.1684/ers.2017.0972
20. Djendli A., (2011) - Qualité des eaux superficielles et souterraines dans la région d'Azzaba . Mémoire de Master. Université Badji Mokhtar Annaba. Page (63-66)
21. Fagestrom R et Larson F., 1977 - Bioconcentration du mercure in « OMS, 1977 ».
22. FAO/ OMS., 1978- Evaluation de certaine additifs alimentaires et de contaminations. Série de rapports technique, N° 631.
23. Fukuzaki N., Tammura R., Hirano Y et Mizushima Y., 1969- Mercury emission form a cement factory and its influence on the environment. Atmospheric environment, vol. n° 12, pp 2291 - 2299.
24. Gavis J., et Ferguson J. F., 1973 - Water RES 6 : 989. in « OMS, 1977 ». Gobold DL., et Hutterman a., 1987 – Whole plant aspects of heavy methal induced changes in CO₂ uptake and water relation in spruce (*Picea albis*) seedlings. *physiol plant* 69. 265 - 270.
25. Giraud M et Guillet M., 1972- Teneur en mercure de milie »ux naturel. Monogragpie scientifique sur la pollution par le mercure et ses dérivés, pp 25 - 41.
26. Godbold DL, et Hutterman a., 1987 - Whole plant aspects of heavy methal induced changes in CO₂ uptake and water relation in spruce (*Picea albis*) seedlings. *physiol plant* 69. 265 – 270.
27. Godbold DL, et Hutterman a., 1988 - Inhibition of photosynthesis and transpiration in relation to mercury induced root damage in spruce seedlings- *physiol plant*, 14, 270 – 275.
28. Guebli H., 1994 - Etude de la dispersion spatial du mercure atmosphérique dans la région dz Azzaba. Thèse en vue de l'obtention du garde de Magister Université de Constantine, pp 117.
29. Haouli Z, Kherici, N, Derdous, O, Sassane, A, Bougherira, N., (2014) – Impact of moning residues on surface and groundwater quality. Case of the mining sector of Azzaba in the North-East of Algeria. *Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability - AIP Conf. Proc.* 1758, 030028-1–030028-7; doi: 10.1063/1.4959424.
30. Kahoul M, Alioua, A, Derbal, N, & Ayad, W. (2014)- Behavior of soil micromycetes regarding the mercury pollution in the area of Azzaba (Algeria). *Journal of Materials and Environmental Science*, 5(5), 1470-1476.

31. Kahoul M, Semadi A., (2008)- Distribution spatiale du mercure dans les sols et sédiments au niveau de la région mercurifère d'Azzaba (N.E. Algérien). Université d'Annaba - Papier conférence
32. 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. Lauwerys R.R. et Coll. (2000). Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles. Ed. Masson. Paris. 961 p.
33. Kudo A. et al., (1978)- The role of sediments on mercury transport (total and methyl-) in a river system. *Frog. Wat. Tech.* 10(5/6)
34. Layat A., (2004)- Hydrochimie des eaux de la région d'azzaba (Application de L'ACP à la pollution mercurielle. Mémoire de fin d'étude Université Badji Mokhtar Annaba. Page (74-89). Nezzal AM., Nezzal AZ., Gueroui S., Khène M., Ghorab S., Bachtarzi T. (1996). Pollution par le mercure et effets sur la santé des travailleurs et de la population environnante, 10ème JNMT Alger les 7, 8 et 9 Mai 1996
35. Lindqvist O., 1991 - Mercury in the SWEDISH environment, recent research on causes, consequences and corrective methods. *Water, Air and Soil pollution. International journal of environmental pollution*, vol. 55, 261 p.
36. Meftah L., 2012 - Audit environnemental - carrières de mercure de Mrasma 1 et 2 - Azzaba (W.Skikda).
37. Megueddem M., Belmahi, H., Azzouz, M., & Reggabi, M., (2004)- Quantitative determination of blood mercury in professionally exposed subjects. *Revue Française Des laboratoires*, 363, 41-46.
38. Mezghache., 1989- Cartographie automatique et interprétation géostatistique d'une campagne de prospection géochimique sur sol. Application à la zone mercurielle Nord numidique (Algerie).
39. Nezzal AZ., Gueroui S., Khène M., Ghorab S., Bachtarzi T., (1996)- Pollution par le mercure et effets sur la santé des travailleurs et de la population environnante, 10ème JNMT Alger les 7, 8 et 9 Mai 1996. OMS., 1977 - Mercure, critère d'hygiène de l'environnement 1 - 50 p.
40. Peterson C. L., 1973 - Fisheries Bull 71 : 603. in « OMS, 1977 ».
41. PNUE - Programme des Nations Unies pour l'environnement. 2002. *Évaluation mondiale du mercure. Substances chimiques.*
http://www.chem.unep.ch/mercury/GMA_in_F_and_S/final-assessment-report-F-revised.pdf.
42. Ramade F., 1978 -Eléments d'écologie appliquée, action de l'homme sur la biosphère. Ed : MC Graw - Hill, paris.
43. Santé Canada., 2004.2007, PNUE, 2002, En ligne, https://www.ec.gc.ca/doc/mercure-mercury/1241/index_f.htm.
44. Schroeder W.H., 1987 - Aire, water exchange of mercury conference proceeding. Vol. 1, pp 36 - 40, 15 - 18.

45. Seklaoui M., 2018- Etude environnemental de la pollution minière du district mercurielle Azzaba.
46. Somers E., 1971 - Proceedings of the symposium on mercury in man's environment Ottawa 15 - 16. Ottawa, royal society of Canada, p 99.
47. Tersic T., Gosar, M., & Biester, H. (2011) - Environmental impact of ancient small-scale mercury ore. processing at Pšenkon soil (Idrija area, Slovenia). Applied Geochemistry, 26(11), 1867-1876. doi:10.1016/j.apgeochem.2011.06.010.
48. 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. D'Annaba.
49. Zouaghi R., (1992)- Étude de la pollution mercurielle des eaux et des sédiments, dans la région de Azzab-a. Th. Mag. Chimie analytique et traitement des eaux. tjniv. de Constantine, pp. 1-25, 43-45, 48, 51, 53, 54, 71-73.