

Quelques indices d'appréciation de la pollution mercurifère dans le milieu éco-géographique de la dépression de Azzaba-Nord Est Algérien

BENDERRADJI Mohammed El Habib

RÉSUMÉ

Le but initial de nos recherches était l'étude de la pollution mercurielle. Mais, lorsque nous visitons le complexe mercuriel et les mines de cinabre situés sur notre terrain d'investigation, nous avons probité pour explorer le paysage de ce terrain. Il nous est alors arrivé l'idée d'étudier la pollution mercurielle en tant que facteur écologique particulier dans l'écosystème considéré et d'analyser d'autres facteurs écologiques de cet écosystème, afin de dégager des mesures de traitements de quelques causes du déséquilibre écologique de celui-ci.

INTRODUCTION: LOCALISATION DU TERRAIN D'ETUDE

Dans l'analyse du milieu éco-géographique, nous nous sommes limités à la dépression d'Azzaba. Les considérations qui ont permis le choix de cette dépression sont exposées dans notre analyse.

Géographiquement, cette dépression fait partie du relief tellien d'altitudes modérées. Elle occupe précisément la partie orientale des chaînes plissées de l'Atlas tellien. Ce dernier fait contact au Nord avec le littoral méditerranéen.

Du point de vue administratif, elle se localise dans la commune d'Azzaba dont elle représente une étendue supérieure à la moitié de sa superficie (Fig. 1) (la superficie cadastrale de la commune est égale à 173,43 km² (2)).

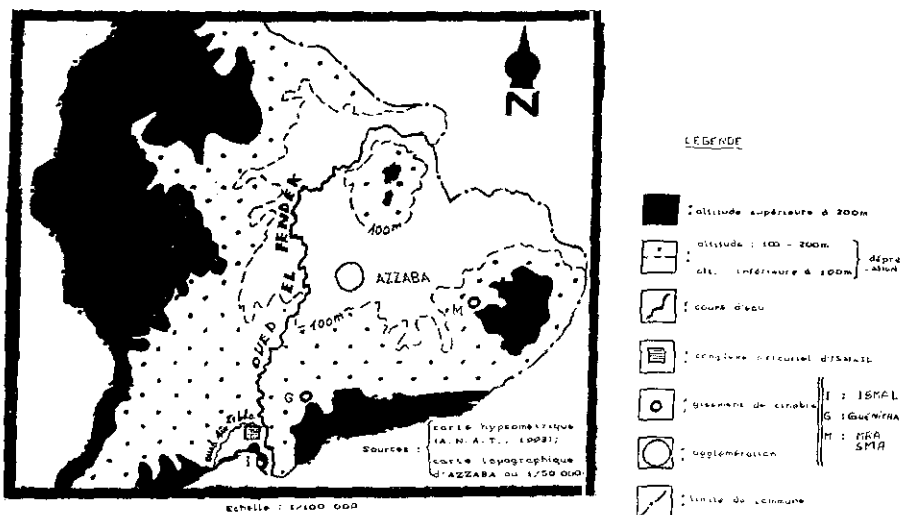


Figura 1.-Carte de situation de la depression d'Azzaba.

Cette commune, appelée autrefois «Jemmapes», appartient à la daïra du même nom (Azzaba) et à la wilaya de Skikda (Fig. 2).

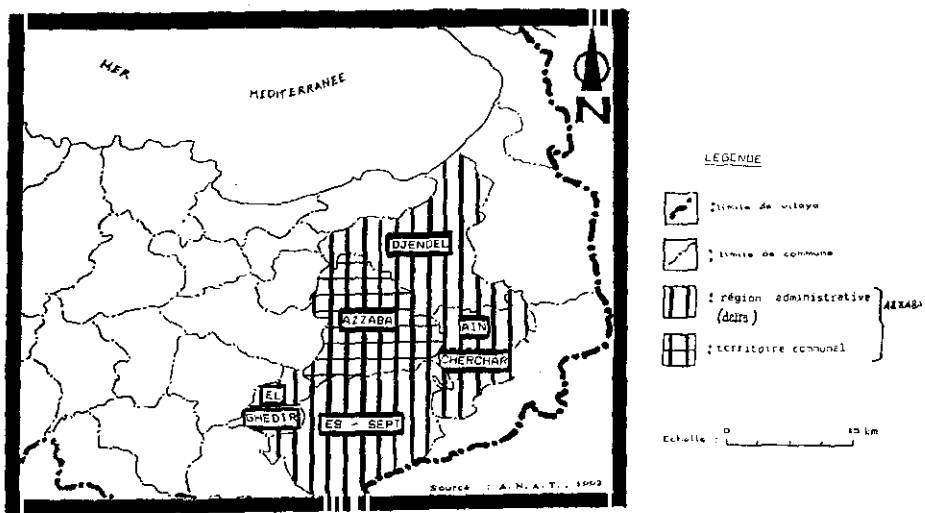


Figura 2.-Carte de situation de la commune d'Azzaba.

ESPACE SUPPORT

1. TOPOGRAPHIE ET GEOLOGIE

La dépression d'Azzaba apparaît comme une *cuvette semi-ouverte*. Sa paroi correspond à des versants et piémonts de deux ensembles séparés de collines et basses montagnes. Ces ensembles culminent à des attitudes de l'ordre de 300 à 500 m. L'un d'eux est un *massif* qui forme les limites W et NW du fond de la dépression et l'autre, un *chaînon* qui forme les limites S et SE de ce fond (carte topographique d'Azzaba au 1/50.000, feuille n.º 32).

En nous référant au sommet le moins élevé parmi les sommets de collines et montagnes qui constituent la paroi de cette dépression [celui du djebel BOU FERNANA (dans le massif): 223 m d'altitude], nous pouvons dire que cette paroi débute à des altitudes supérieures à 200 m. Elle commence par des versants de pentes souvent moyennes (de 12 à 20%) ou parfois fortes (supérieures à 20%) et se termine en général par des piémonts de pentes faibles (4-12%).

Cette paroi est constituée essentiellement par des roches sédimentaires d'âges tertiaires.

Il s'agit surtout de *gres numidiens* d'âge oligocène et d'*argiles numidiennes* d'âge priabonien (carte géologique détaillée de Jemmapes au 1/50.000, feuille n.º 32).

Ces formations géologiques appartiennent donc au Numidien. Celui-ci est un faciès qui s'applique à une série schisto-gréseuse bien caractérisée.

La base du Numidien est généralement argileuse. Elle débute localement par des poudingues et contient fréquemment de petits bancs de microbrèches. Son sommet est dominé par des grès grossiers en bancs compacts et très puissants (5).

Le fond de la dépression est occupé par une *plaine* dont l'altitude moyenne est légèrement inférieure à 100 m (même carte topographique).

OCCUPATION DU TERRAIN

1. VEGETATION

Dans la dépression d'Azzaba, la végétation forestière est essentiellement naturelle. Elle occupe la paroi de cette dépression. Elle est encore en bon état sur le grès numidien du massif et vers les sommets. Sur le reste de la paroi, elle est dégradée: il n'y reste plus qu'un *maquis* peu arboré et discontinu. Ce peuplement est formé de chêne-liège (*Quercus suber*), d'olivier (*Olea euro-*

pea), de lentisque (*Pistacia lentiscus*), d'arbousier (*Arbutus unedo*), de bruyères (*Erica sp*), de cistes (*Cistus sp*), de diss (*Ampelodesma mauritanica*)...

Dans cette dépression, une importante superficie qui correspond surtout à la plaine, est occupée par des *cultures*: céréales (blé, orge); cultures maraîchères ou mixtes (tomate, fève, melon, pastèque); fourrages, arbres fruitiers (olivier, agrumes, vigne).

1.1. *Habitat humain*

La dépression d'Azzaba est un terrain partiellement *urbanisé*. L'agglomération urbaine correspond au chef-lieu de la commune et de la daïra. Cette ville a connu une importante extension dans les deux décennies 1970-1990. Sa croissance démographique était le principal moteur de l'extension. Elle occupait en 1990 une superficie de 250 ha (2).

Sa population dépasse sensiblement la moitié de la population totale de la commune. Le 1er janvier 1992, Elle était peuplée par 25.430 habitants (2). A la même date, la population totale de la commune était estimée à 41.710 hab. (2).

Dans le milieu rural, certaines maisons sont dispersées, d'autres sont groupées en hameaux. Ceux-ci ont souvent tendance à former de petites agglomérations de caractère urbain.

Les hameaux en cours d'urbanisation sont surtout: MENZEL EL ABTAL, MENZEL BENDICHE, GREBISSA et ZAOUIA.

2. CONSTAT

Le milieu éco-géographique de la dépression d'Azzaba est abrité par un relief de 300 à 500 m d'altitude. Ce relief doit avoir une influence sur le climat de l'écosystème de ce milieu (par rapport aux écosystèmes plus élevés situés aux alentours de la dépression). Cependant, la quantité de pluie qui y tombe chaque année est suffisante pour donner à cette ambiance mésoclimatique le caractère méditerranéen subhumide.

L'essentiel de la superficie de cette dépression est formée par des terres dont les conditions du substrat et du relief conviennent à l'agriculture.

Cependant, l'urbanisation consomme, au détriment de l'agriculture, des étendues assez considérables de terres.

Le problème naturel majeur de cette dépression concerne la disponibilité des ressources hydriques en période sèche (notamment en été). Celles-ci sont très mal réparties entre l'hiver et l'été: il y a trop d'eau en cette première saison et très peu en cette dernière.

Enfin, il est facile de constater que les décideurs qui ont mis le complexe mercuriel en place n'ont pas tenu compte de l'importance du potentiel agromonomique que recèle la dépression d'Azzaba.

DESCRIPTION DU COMPLEXE MERCURIEL

1. EMLACEMENT

Des observations générales que nous avons faites sur l'emplacement de ce complexe, nous ont conduit à la description suivante:

1.^o) Cet emplacement est occupé par plusieurs bâtiments et est parcouru par plusieurs routes dont la principale le traverse suivant la direction à peu près est-ouest.

2.^o) Du côté N de la route principale, il y a:

- Une décharge énorme constituant l'«entrepôt» de déchets solides (appelés «scories»).
- Deux petits lacs dans lesquels se réalise la decantation de déchets liquides (nommés «eaux techniques»).

(Le plus ancien et le plus grand de ces lacs, appelé «lac de decantation n.^o 1» ou «lac n.^o 1», figure sur la feuille n.^{os} 5-6 de la carte topographique d'Azzaba au 1/25.000.)

3.^o) Du côté S de cette route, se trouve une longue cheminée de forme cylindrique. (Elle mesure 112 m de hauteur à partir du sol et 2 m de diamètre.)

Cette description a été également présentée sous forme d'un schéma (Fig. 3).

1.1. *Activites*

Les activités du complexe mercuriel d'Ismail peuvent être distinguées suivant les lieux où elles sont effectuées: l'une est réalisée au niveau des mines, l'autre est accomplie au niveau du complexe.

Au niveau des mines, l'activité se rapporte à l'extraction de cinabre, son stockage et son chargement.

L'exploitation des gisements se fait à ciel ouvert: on enlève d'abord les ro-

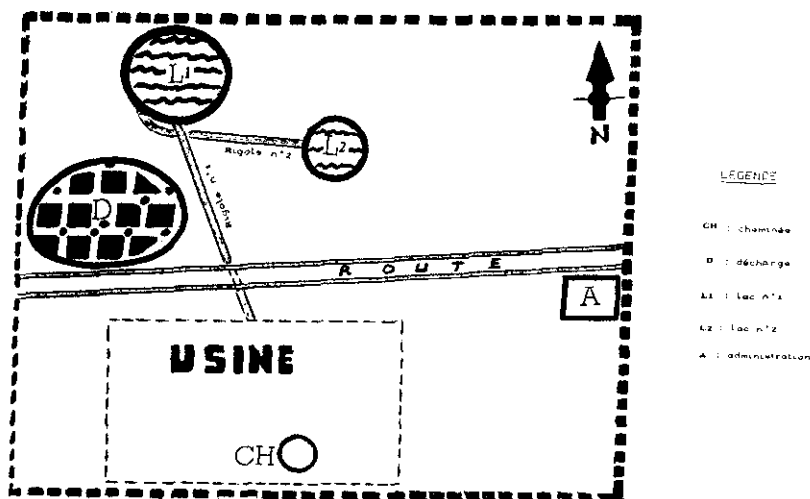


Figura 3.—Vue schématique et simplifiée de l'emplacement du complexe mercuriel d'Ismael.

ches qui recouvrent le gîte du mineral (découverte); ensuite, on extrait le mineral du gisement.

Après extraction, le minerai est stocké à côté de la mine, en attendant que des camions viennent du complexe pour le charger et le transporter jusqu'à l'usine.

Au niveau du complexe, l'activité consiste au traitement du cinabre à l'usine pour produire le mercure métallique. Le processus de ce traitement peut se resumer par le schema de la figura 4.

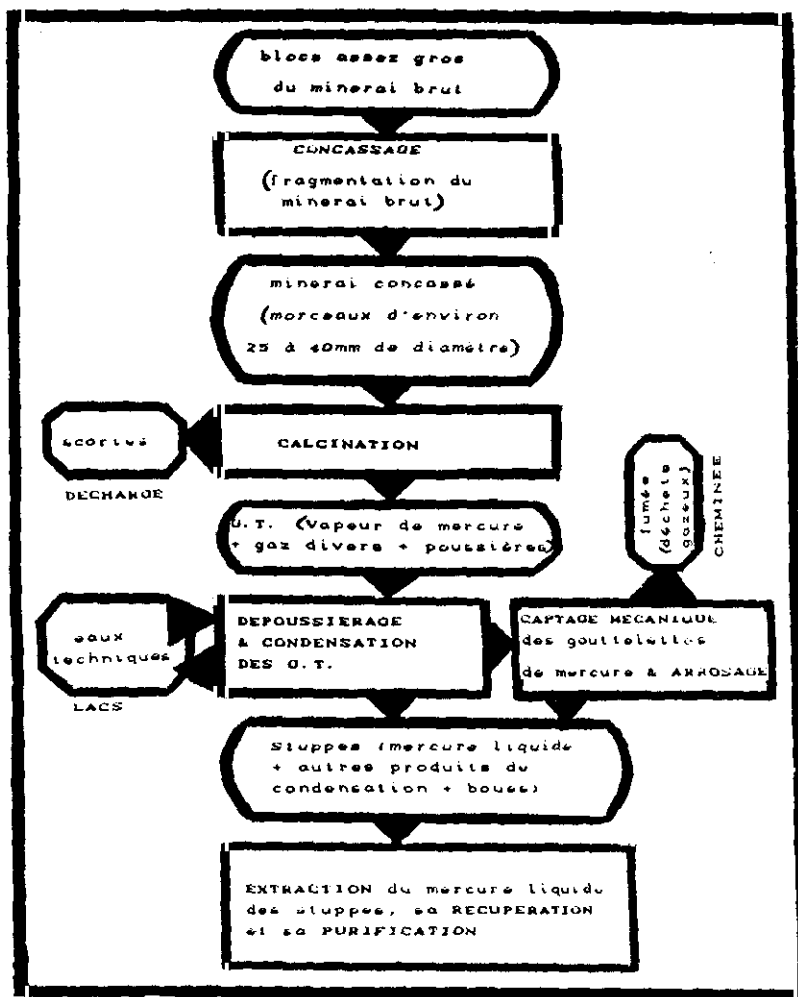
METHODOLOGIE

1. CHOIX DU TERRAIN D'ETUDE




La region de «Azzaba» est particulièrement connue des analystes de pollution, qui y ont mené des recherches dans le cadre de la pollution par les substances mercurielles.


Ces analystes se sont rendus compte de l'existence des risques de pollution liés au complexe mercuriel d'Ismael. Ils ont alors requis des études pour évaluer l'importance du danger que représente ce complexe.

Parmi les analystes dont nous avons consulté les documents, ceux qui ont



LEGENDE

-  : produit (a)
-  : operation (a)
-  : déchet (a)

 : sens de déroulement des opérations

G.T. : gaz technologiques

Figura 4.-Schema simplifié de la chaîne technologique du complexe mercuriel d'Ismaïl.

analysé des résultats ou des données de dosages du mercure total en les comparant avec les teneurs normales en cet élément ou les normes, ont montré que ce complexe polluait l'écosystème. De plus, ils ont généralement constaté que cette pollution était tellement inquiétante, car les teneurs en mercure dépassaient en général largement les teneurs normales ou les normes selon le cas.

Le choix de la dépression d'Azzaba comme terrain d'étude s'est basé sur le fait que cette dépression constitue le milieu de la région d'Azzaba le plus influencé par le mercure libéré dans l'environnement. En effet:

— L'usine de mercure et la plupart des mines de cinabre se localisent sur la paroi de cette dépression.

— Un relief en dépression peut favoriser la stagnation des polluants atmosphériques, notamment en cas d'inversion de température et de faiblesse (ou d'absence) de vents.

1.1. *Sorties sur terrain*

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.

Nos enquêtes ont été menées auprès des services de fabrication et de sécurité industrielle du complexe, et au laboratoire de chimie de l'usine, en 1994.

1.2. *Choix des sites d'échantillonnages, collecte et traitement des résultats et des données*

Nous avons fondé une étape de cette étude sur des résultats et des données de dosages du mercure dans le biotope de notre terrain d'investigation.

La collecte des résultats ou des données a été effectuée grâce à des documents (thèses et mémoires) de chercheurs qui ont travaillé sur la pollution mercurielle des eaux de surface, de l'air ou des sols dans la région d'Azzaba.

Ayant à notre disposition un certain nombre de sites d'échantillonnages qui se localisent sur notre terrain d'étude, nous les avons cartographiés.

Ces sites ont été choisis, parfois au hasard, par des analystes de pollution parmi ceux qui ont dosé le mercure dans la région d'Azzaba.

Souvent, les sites choisis par chaque analyste diffèrent de ceux choisis par les autres analystes.

Parmi les sites cartographiés, nous avons choisi quelques uns en utilisant

comme critère: le trajet suivi par les eaux mercurifères provenant du lac n.º 2 (voir le chapitre III de cette partie).

En considérant ce trajet dans l'espace aérien, nous l'avons assimilé au trajet ISMAIL-MENZEL BENDICHE-AZZABA. Ce dernier est opposé au trajet du vent dominant du NE.

Pour certains sites d'échantillonnages, les résultats ou les données de dosages ont été fournis en grand nombre par des analystes qui ont étudié l'évolution temporelle du degré de pollution.

Nous avons groupé ces résultats ou données selon les sites et les analystes, et les avons exprimés sous formes de moyennes; afin d'avoir une seule valeur pour chaque site choisi et d'après un auteur précis.

ETUDE DE LA POLLUTION MERCURIELLE

1. MILIEUX EMETTEURS

1.1. *Etude de la pollution au niveau du complexe*

1.1.1. Pollution des oueds Ain Zebda et El Fendek

Les eaux techniques de l'usine forment un circuit fermé (Fig. 7). On peut alors se demander comment se fait la diffusion de mercure dans les oueds Ain Zebda et El Fendek à partir des lacs de décantation.

Nos observations sur le site des lacs et ses environs (3 et 4 avril, et 27 juin, 1994) nous ont permis de répondre à cette question. En fait:

— L'oued Ain Zebda (un affluent de l'oued El Fendek) est séparé du lac n.º 2 par un sol suffisamment incliné pour permettre l'écoulement de l'eau de ce lac à ce premier oued.

— A cause d'une forte pluie ou lorsque les eaux techniques (qui transitent normalement par le lac n.º 1 avant d'aboutir au lac n.º 2) sont directement évacuées dans ce dernier lac (ce qui est le cas notamment vers la fin du mois de juin), il déborde et libère une partie de son contenu dans l'oued Ain Zebda.

Concernant les apports en mercure du lac n.º 2 aux oueds Ain Zebda et El Fendek, la fraction de l'eau de ce lac qui atteint ces oueds, peut contenir du mercure sous formes de sulfure mercurique (HgS) en suspension², de mercure

² Contrairement à la plupart de sels mercuriques, le sulfure mercurique est très peu soluble dans l'eau.

**DONNEES DE DOSAGES DU MERCURE TOTAL POUR LES SITES D'ECHAN-
TILLONNAGES CARTOGRAPHIES**

<i>Compartiments</i>	<i>Sites</i>	<i>Teneurs en mercure total en ppb</i>	<i>Périodes du années de dosages</i>	<i>Sources</i>
Eaux superficielles	L1	2.310	janvier 1990	KHALFI 1992
	L2	224		
	Z1	96	mars 1989	TIFOUTI, 1993
	Z2	2,25	janvier 1990	KHALFI, 1992
	F1	1	mars 1989	TIFOUTI 1993
	F2	5		
	F3	1,3		
	F4	1		
F5	0,5			
Air	U	4,35	1991	KHALFI 1992
	MB	0,12		
	Z	0,05		
	A	0,02		
Sols	F1	7.000	mars 1989	TIFOUTI 1993
	F2	5.300		
	F3	4.700		
	F5	1.500	1993 ?	BENALLA & REDJLI 1994
	Is	15.250		
	Ze	21.250		
	SM	5.000		

N.B.: Les valeurs des sites L1, L2, Z2, Is, Ze et SM sont originales; les autres sont des moyennes que nous avons calculées.

metallique (Hg⁰) en suspension ou dissous et d'ion mercurique (Hg²⁺, dissous).

Le HgS est issu des eaux techniques. Ces eaux qui aboutissent aux lacs pour être décantées sont riches en matières dispersées provenant du procédé industriel. Ces matières comprennent des particules solides et une quantité du

SITES DES SOLS

<i>Sites</i>	<i>Lieux</i>	<i>Aspects topographiques</i>	<i>Situations par rapport à l'usine de mercure</i>
Is	Ismail	Versant de pente faible; altitude: 230 m	450 m au S
Ze	Zebda	Vallée plate; alt.: 125 m	450 m au NMW
F1	Fendek	Vallée encaissée; alt.: 150 m	1400 m au SSE
F2	Fendek	Vallée plate; alt.: 120 m	1150 m au NNE
F3	Fendek	Vallée plate; alt.: 115 m	2000 m au NNE
F5	Fendek	Vallée plate; alt.: 95 m	5400 m au NNE
SM	Sidi-Meziane	Replat sommital d'une colline; alt.: 110 m	5000 m au NE

mercure insoluble sous forme de HgS. Au sein des lacs, ces matières décantent considérablement mais partiellement; une certaine portion de celles-ci reste en suspension.

Le Hg⁺ peut provenir de la décharge. Celle-ci est susceptible d'entraîner la contamination des lacs, suite:

— Au pluviolessivage de la vapeur de mercure qu'elle dégage dans l'air de son environnement.

— Au ruissellement (avec les eaux issues de cette décharge a cause d'une forte pluie) de la fraction de mercure que renferment les scories, vers la rigole n.º 2 (Fig. 3).

L'ion Hg²⁺ est inévitablement présent dans les eaux des lacs, en cas où leurs valeurs de P^H sont sensiblement acides.

En effet, l'acidité provoque la dissociation du HgS et l'ionisation du Hg⁺, ce qui est à l'origine de cet ion.

Le P^H de ces eaux descend parfois jusqu'à des valeurs de l'ordre de 5 à 4 (25).

1.1.2. Pollution de 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.^o) Les poussières de minerai s'échappent dans l'air lors du déchargement des camions transporteurs du minerai. D'autres sont perdues le long de la chaîne de production du mercure.

Ces poussières contiennent de sulfure mercurique.

2.^o) 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.^o) Au mercure métallique vaporisé que contient la fumée évacuée à travers la cheminée.

Cette fumée est composée de gaz de combustion (notamment SO₂), 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 (Fig. 7), 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.^o) A celui dégagé à partir de la décharge.

Les scories sortent du four très chaudes (avec une température pouvant atteindre 300 °C).

Après leur sortie, elles sont immédiatement chargées dans un camion qui les transporte jusqu'à la décharge où 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.^o) 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.

SITES AERIENS

<i>Sites</i>	<i>Lieux</i>	<i>Situations par rapport a l'usine de mercure</i>	<i>Autres précisions sur les situations</i>
U	Usine de mercure	—	650 de la rive W de l'oued El Fendek
MB	Menzel Bendiche	2.450 m au NNE	350 m de la rive E de l'oued El Fendek
Za	Zaouia	2.125 m au N	675 m de la rive W
A	Azzaba	5.600 au NNE	1.000 m de la rive

1.1.3. Pollution des sols irrigues voisins du complexe

D'après notre observation vers la fin du mois de juin 1994, l'eau issue du lac n.° 2 était canalisée, puis stockée dans des fosses creusées par des gens. Enfin, elle était récupérée pour servir à l'irrigation des cultures dans la vallée de l'oued Ain Zebda (celui-ci était à sec).

L'irrigation avec cette eau chargée en mercure, provoque la contamination mercurielle des sols irrigues.

1.2. Etude de la pollution au niveau des mines

Pollution des eaux superficielles courantes

Le fait que les mines de cinabre se localisent sur des versants assez fortement ou fortement inclinés (pentes supérieures à 12%) peut conduire à supposer que le mercure peut être drainé des sites miniers aux oueds.

KHALFI (1992) a confirmé cette hypothèse après son observation sur la mine d'Ismail.

Afin de tester la confirmation de cet auteur, nous avons fait une observation au niveau de la même mine, un jour de forte pluie (4 avril 1994).

Cette observation nous a révélé que certains sillons présents sur le sol du

DONNEES PLUVIOTHERMOMETRIQUES

<i>Mois</i>	<i>Données pluviométriques en mm</i>		<i>Données thermométriques en °C</i>
J	96	140	9,15
F	94	103	9,85
M	75	73	12,4
A	54	54	15,25
M	27	45	18,25
J	9	16	22,05
J	0,5	3	25,85
A	3,5	4	27,2
S	26	27	25,15
O	59	62	21
N	78	90	14,55
D	95	127	13,9
Année	617	744	17,95
Sources	A.G.I.D. 1992	SELTZER 1946	

J, F, ..., D: janvier, février, ..., decembre.

site minier, creusés au cours des travaux d'extraction du minerai, facilitent l'écoulement des eaux de pluie. Ces eaux, qui sont plus ou moins enrichies en mercure par lavage de poussières de minerai et raclage de debris de roches mercurifères (issues du gisement), 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 El Fendek. C'est dans cet oued que ce ravin déverse ces eaux.

1.2.2. Pollution de l'air et des sols voisins ou éloignés des mines

Chaque mine en cours d'exploitation constitue une source d'émission de poussières contenant du sulfure mercurique.

SITUATIONS DES SITES D'ECHANTILLONNAGES CARTOGRAPHIES

1. Sites des eaux de surface

<i>Sites</i>	<i>Lieux</i>	<i>Situations: distances entre les sites et l'usine de mercure en m</i>	<i>Autres précisions sur les situations</i>
L1	Lac n.º 1	300	Aval de l'usine
L2	Lac n.º 2	250	
Z1	Oued Ain Zebda	400	
Z2	Confluent oueds Ain Zebda-El Fendek	700	
F1	Oued El Fendek	1.400	Amont
F2	Oued El Fendek	1.150	Aval
F3	El Fendek: Pont du chemin de fer	2.000	
F4	El Fendek: pont de la rote Constantine - Annaba	3.750	
F5	El Fendek: pont ancien de la route de Skikda	5.400	

Ces poussières sont dispersées à partir des résidus de roches mercurifères et même à partir du mineral.

Particulièrement en période sèche, elles envahissent l'air environnant le site de la mine, sous les effets conjugués de l'activité minière (extraction, entreposage et chargement de minerai) et des vents qui soufflent sur ce site.

Les sols situés au voisinage immédiat des mines sont des lieux de dépôt des particules de poussières mercurifères.

En effet, les particules assez lourdes ne peuvent rester en suspension dans l'air et être transportées loin. Elles chutent sous l'action de la pesanteur et se déposent sur ces sols.

Les particules qui parviennent à se maintenir en suspension dans l'air, atteignent des endroits assez éloignés par l'intermédiaire des vents et se déposent sur les sols sous les actions des courants descendants et (ou) précipitations.

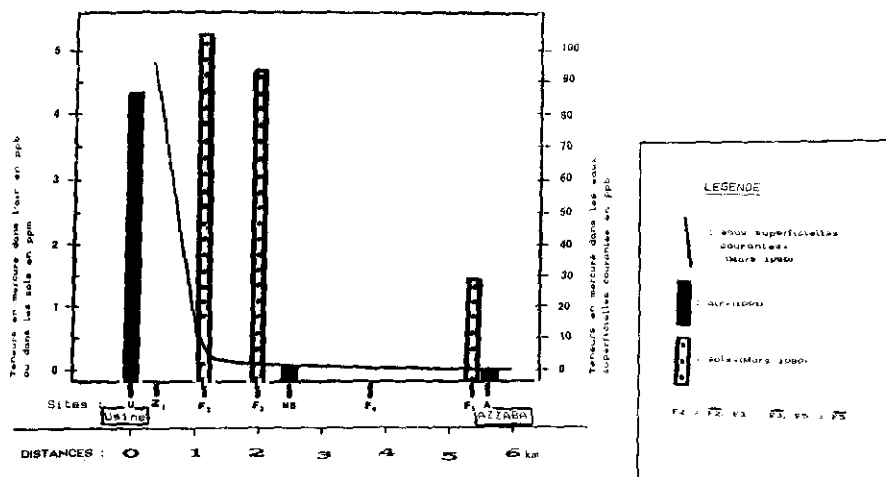


Figura 5.-Distribution spatiale des teneurs en mercure dans le biotope sur le trajet Ismail-Menzel Bendiche-Azzaba.

2. MILIEUX RECEPTEURS

2.1. *Biotope*

2.1.1. Aspect qualitatif

2.1.1.1. *L'oued el Fendek*

Le mercure contenu dans l'eau de l'oued Ain ebd, celui que 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 Fendek.

Le P^H de l'eau de l'oued El Fendek varie de 7 à 8,5 (25). Ces valeurs de P^H favorisent la précipitation du sulfure mercurique.

En effet, comme les autres sulfures ou métaux lourds, il est pratiquement insoluble dans des conditions de P^H voisines de la neutralité³.

Durant la période pluvieuse, les oueds relativement importants se caractérisent en général par une richesse assez considérable en débris minéraux et or-

³ Extrait du cours «Procédés de récupération des métaux dans les eaux résiduaires»: Med - Campus; faculté des sciences. El Jadida (Maroc); prof. E. K. Lhadi, 1993.

1. Signes d'orientation

N: nord	NE: nord-est	NNE: nord-nord-est
	NW: nord-ouest	NNW: nord-nord-ouest
S: sud	SE: sud-est	SSE: sud-sud-est
	SW: sud-ouest	*
E: est	_____	ENE: est-nord-est
	_____	ESE: est-sud-est
W: ouest	_____	*
	_____	*

ganiques provenant des sols des bassins-versants. Ces débris se déposent en partie au fond de l'eau où ils 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 (20)].

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.

L'ion mercurique, bien qu'il soit soluble dans l'eau, peut s'adsorber sur les particules en suspension [BILLEN, 1973 (24)]. 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

2. Symboles des unités de mesure ou d'appréciation

mm: millimètre cm: centimètre m: metre Km: kilomètre	ha: hectare Km ² : kilomètre carré
c: degré centigrade j: jour %: pour cent	ppb: partie par billion ppm: partie par million

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.

2.1.1.2. *L'air*

La dispersion des aérosols mercurifères provenant des sources de pollution situées au niveau du complexa (cheminée et décharge), et celle des aérosols venant des mines; se réalisent sous l'action des mouvements de l'air (courants atmosphériques). Cependant, le rôle des vents dominants dans ces dispersions est le plus important.

La prise en considération de ces vents, nous a permis d'admettre qu'ils tendent à s'opposer à la dissémination de ces aérosols vers le fond de la dépression.

A la quantité de mercure disséminée directement à partir des sources d'émission de cet élément dans l'air, nous pouvons ajouter la quantité propagée dans l'air suite aux phénomènes naturels:

- Le mercure métallique se dégage à l'état de vapeur, directement de la surface du sol (9).
- La biométhylation mercurielle s'accompagne de pertes par volatilisation du diméthylmercure [(CH³)₂ Hg] (9, 17, 20). Cet organomercuriel peut s'évaporer ainsi des oueds et des sols contaminés, et passer dans l'air.
- Certaines espèces végétales réduisent l'ion mercurique qu'elles pompent à partir du sol, en mercure métallique qu'elles libèrent à l'état de vapeur à travers les feuilles (23).

2.1.1.3. Les sols

Dans la dépression d'Azzaba, le mercure se concentre le plus dans la couche du sol située entre 0 et 20 cm de profondeur (10). Mais, sa concentration la plus élevée est détectée entre 0 et 10 cm de profondeur (12). Cependant, sa teneur peut être moins importante dans la partie la plus superficielle (0 à 10 cm) 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 expliquées comme suit:

- *Le sulfure mercurique est pratiquement insoluble dans des conditions de P^H 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 (qui est d'ailleurs légère) provoque l'ionisation de ce mercure, les matières organiques favoriseraient par leur électronégativité la rétention des ions formés.

2.1.1.4. Les eaux souterraines

Parmi les phénomènes d'auto-épuration des sols, nous pouvons envisager l'évacuation de mercure vers les eaux souterraines.

En admettant que le mercure qui est apporté aux sols se concentre essentiellement dans l'horizon superficiel, nous pouvons supposer que la contamination mercurielle de ces eaux est relativement réduite.

La réduction dépend évidemment de la localisation en profondeur de la nappe phréatique en question, car toute l'épaisseur de terre qui se trouve au-dessus de la nappe est susceptible de retenir une certaine portion de la quantité de mercure entraînée par les eaux de percolation. Ainsi, il est logique de prévoir que *plus la nappe est située à une profondeur élevée, plus elle peut offrir à l'homme une eau moins mercurifère.*

2.1.2. Aspect quantitatif

L'évaluation des teneurs en mercure dans les différents compartiments du biotope selon notre critère d'échantillonnage et à l'aide de la carte suivante (Fig. 8), nous a permis de remarquer que:

1.º) Sur le trajet que nous avons choisi (ISMAIL-MENZEL BENDICHE-Azaba), le biotope est de moins en moins contaminé (Fig. 5).

Une telle diminution du niveau de contamination avec l'éloignement de l'usine à été constatée ou remarquée par la plupart des analystes de pollution qui ont étudié la pollution mercurielle des eaux superficielles courantes, de l'air ou des sols dans la région d'Azaba. De plus, ces analystes ont généralement essayé d'expliquer dans leurs commentaires, les causes de cette situation.

Parmi ces analystes, nous pouvons citer:

- ZOUAGHI (1992), pour l'étude de la pollution mercurielle des eaux superficielles courantes.
- KHALFI (1992), pour l'étude de la pollution mercurielle de l'air.
- TIFOUTI (1993), pour l'étude de la pollution mercurielle des sols.

2.º) Le niveau de contamination varie nettement entre les compartiments: il est plus grand dans les sols que dans les eaux superficielles courantes et plus petit dans l'air que dans ces eaux.

Les diminutions des teneurs en mercure dans chaque compartiment sont:

- Dans les eaux superficielles courantes, de 96 à 0,5 ppb [nos moyennes à partir des résultats spatio-temporels de TIFOUTI (1993)].
- Dans l'air, de 4,35 à 0,02 ppb [nos moyennes à partir des données spatio-temporelles de KHALFI (1992)].
- Dans les sols, de 21250 à 1500 ppb [nos moyennes à partir des résultats spatio-temporels de TIFOUTI (1993)].

La variation «intercompartimentale» du niveau de contamination peut s'expliquer d'une part, par la quantité de mercure émis dans chaque compartiment; d'autre part, par l'efficacité des phénomènes d'auto-épuration pour chacun des compartiments.

Parmi ces phénomènes, nous pouvons signaler:

- Le dépôt de mercure dans la vase des oueds et son charriage vers la mer (pour les eaux superficielles courantes).
- La dilution aérienne et la retombée de mercure vers les sols (pour l'air).
- L'évacuation de cet élément vers les eaux superficielles courantes et les eaux souterraines (pour les sols).

L'accumulation de mercure dans les sols est ainsi la conséquence notamment de la faiblesse de l'auto-épuration, due à la faiblesse du drainage par ruissellements, car les sols du trajet choisi ont des pentes nulles ou très faibles.

2.2. Biocenobe

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.

Sur cette partie du terrain, les plantes peuvent en particulier fixer avec facilité le mercure à partir de l'air.

La fraction mercurielle contenue dans les eaux issues directement du lac n.º 2 ou provenant des oueds Ain Zebda et El Fendek en aval de l'usine, risque de contaminer les cultures par irrigation. Les cultures les plus menacées sont celles qui s'étendent de part et d'autre de l'oued El Fendek (en aval de l'usine) jusqu'à une distance d'environ 1 km par rapport au site de l'usine (à vol d'oiseau). En effet, les eaux de surface sont très polluées sur cette étendue (Fig. 9).

Cette 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 ruissellements 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 du sol.

En conséquence, le bétail peut être contaminé par le biais des herbes pâturées surtout dans les environs du complexe ou des fourrages cultivés dans le voisinage de celui-ci.

Enfin, l'homme peut se faire contaminer en consommant des produits agricoles (végétaux ou animaux; contaminés).

CONCLUSION

Le mercure disséminé dans le biotope de la dépression d'Azzaba provient en général directement du complexe mercuriel et des mines de cinabre.

Sa propagation est due:

— À partir du complexe, aux eaux résiduaires, poussières de minerai et surtout celles de scories, et gaz mercurifères.

— À partir des mines, aux eaux de ruissellements et poussières de minerai.

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

Notons que ce complexe est bien placé par rapport à la ville d'Azzaba: selon le graphique de la distribution spatiale des teneurs en mercure dans le biotope, son influence polluante sur cette ville est relativement faible.

Dans la plaine d'Azzaba, la fraction mercurielle qui atteint les sols s'y accumule. Cette accumulation est en partie déterminée par la faible efficacité d'auto-épuration de ces sols liée à la faiblesse du drainage par ruissellements.

En partant de l'évidence que la contamination du biotope entraîne automatiquement celle de la biocénose, nous avons prévu que les organismes vivant sous la dépendance totale ou partielle de l'environnement immédiat de l'emplacement du complexe sont les plus menacés par la contamination mercurielle. Ils présentent donc plus de risques d'être intoxiqués par le mercure.

1. GLOSSAIRE

1.1. Termes géographiques algériens

Chaâba: Ravin.

Daira: Circonscription administrative correspondant à l'arrondissement.

Djebel: Montagne.

Koudiat: Élévation dans un relief de moyenne ou basse altitude.

Oued: Cours d'eau.

Tell: Zone montagneuse située dans le nord de l'Algérie.

Wilaya: Circonscription administrative correspondant au département.

1.2. Autres termes

Aérosols mercurifères: Poussières et gaz chargés en mercure.

Arrosage: Opération de refroidissement qui permet de condenser la vapeur de mercure et donc d'obtenir du mercure liquide.

Calcination: Transformation du sulfure mercurique en mercure métallique, par cuisson oxydante du cinabre à une température très élevée (de 650 à 1200 °C).

Cinabre: Matériau naturel utilisé comme minéral de mercure suite à la présence (dans ce matériau) d'une teneur importante ou assez importante en sulfure mercurique.

1. ANALYSE DU MILIEU

1. A.G.I.D. (Agence nationale de réalisation et de gestion des infrastructures hydrauliques pour l'irrigation et le drainage) (1992). Aménagement hydro-agricole du périmètre de ZIT-EMBA. Dossier I.B.: analyse des ressources en sol. Volume I: rapport de synthèse, p. 7. [Référence: Agence nationale des ressources hydrauliques (A.N.R.H.); bureau: zone industrielle Constantine.]
2. A.N.A.T. (Agence nationale pour l'aménagement du territoire) (1993): Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme. Commune de Azzaba. Mission I. 1ère partie: bilan de la situation actuelle, pp. 5, 6, 10, 8, 25, 39-46, 57, 90, 92, 144. (Ref.: Service de l'hydraulique de la daïra d'Azzaba.)
3. BAGNOULS, F. et GAUSSEN, H. (1953): Saison sèche et indice xérothermique. Volume 3. Numéro 1. Article 8.
4. DJELLOULI (née TABET) Y. (1981): Etude climatique et bioclimatique des hauts plateaux du Sud oranais. Wilaya de Saida. Comportement des espèces vis-à-vis des éléments du climat. Thèse de Doctorat de 3.º cycle. Sciences biologiques - Biologie végétale. Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene El Djazail, p. 36.
5. GIGNOUX, M. (1960): Géologie stratigraphique. Ed. Masson et C^{ie}. Paris, pp. 583, 584.
6. KADIK, B. (1987): Contribution à l'étude du pin d'Alep en Algérie. Ed. O.P.U. Alger, pp. 47, 48, 50, 411, 412, 417, 420.
7. PEGUY, Ch. P. (1970): Précis de climatologie. Ed. Masson et C^{ie}. Paris, pp. 188, 189.
8. SELTZER, P. (1946): Le climat de l'Algérie. Ed. Carbonell. Alger. (Photocopie partielle du document original.)

2. ÉTUDE DE LA POLLUTION

9. AISSAOUI, S. (1992): Influence du taux de mercure sur la teneur de quelques nutriments des grains g'orge. Mémoire d'Ingénieur d'état. Analyse et contrôle de qualité. Univ. de Constantine, pp. 3-12, 18, 19, 40, 41.

10. AMAMRA, S. (1992): Contribution à l'étude de l'influence du sulfate de mercure sur la croissance d'une variété d'orge *Hordeum vulgare* var *Saida*. Mém. Ing. d'état. Ecologie - Pollution. Univ. de Constantine, pp. 5-7, 26-29.
11. BELDJEHEM, A. et BENLAHYANA, R. (1993): Dosage du mercure total dans le lait provenant de Azzaba et dans le fromage frais préparé à partir de ce lait. Mém. Ing. d'état. Industries agro-alimentaires. Univ. de Constantine, pp. 1-6, 19, 20, 24, 25, 44, 45, 56-66.
12. BENALLA, L. et REDJLI, M. (1994): Contribution à l'étude de l'influence du mercure sur les abondances des micro-arthropodes du sol, dans la région de Azzaba. Mém. Ing. d'état. Ecologie et environnement - Pollution. Univ. de Constantine, pp. 6, 7, 11, 16, 17, 47-49.
13. BILLEN, G. (1973): Etude de l'ecométabolisme du mercure dans un milieu d'eau douce. Hydrobiol. Bull. Vol. 7. N.º 2.
14. BOULAHOUACHE, N. (1990): Contribution à la détermination du taux de mercure du concentré de tomate, dans la région de Azzaba. Mém. Ing. d'état. Analyses et contrôle de qualité. Univ. de Constantine, pp. 8, 10-12.
15. C.M.I. (Complexe Mercuriel d'Ismail) (1994): Processus technologique et caractéristiques techniques des appareils. (Folles détachées). (Ref.: Service de fabrication du C.M.I. - Azzaba.)
16. DOMART, A. *et al.* (1990): Nouveau Larousse medical. Dernière édition: Librairie Larousse. Paris.
17. 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. (Document non paginé.)
18. KUDO, A. *et al.* (1978): The role of sediments on mercury transport (total and methyl-) in a river system. Prog. Wat. Tech. 10 (5/6).
19. MEKKIOU, H. et DIARRA, M. L. (1991): Dosage du mercure total dans la tomate provenant de Azzaba et ses environs. Mém. Ing. d'état. Industries agro-alimentaires. Univ. de Constantine, pp. 1-7, 12-17, 21-27, 51-59.
20. MEKKIOU, R. (1992): Epuration des eaux chargées en mercure, par des macrophytes (*Typha latifolia* L. et *Lemna minor* L.), Application aux eaux industrielles du complexe mercuriel d'Ismail (Azzaba). Étude en pilote. Th. de Magistère. Chimie analytique et traitement des eaux. Univ. de Constantine, 138 p.
21. RAMADE, F. (1978): Eléments d'écologie appliquée. 2.^e édition: McGraw - Hill, Inc. Paris, pp. 169, 300, 333, 378-386.
22. SENOUCI - BEREKSI SMAHI, Z. (1985): Étude de l'action du biphénylmercure sur les chlorures d'alkylmercure, par les méthodes chromatographiques et par la spectrométrie de masse. Th de Mag. Chimie organique appliquée. Univ. des sciences et de la technologie Houari Boumediene, pp. 1-5.
23. TIFOUTI, M. Détection de la pollution mercurielle à l'aide de l'accumulation spatio-temporelle du mercure dans l'eau, les feuilles d'agrumes et le sol, dans la région de Azzaba. Th. Mag. Ecotoxicologie. Univ. de Annaba. pp. 21, 22, 32, 34, 44, 45, 54-58, 63-71, 76.
24. WASSON, J.-G. (1975): Étude écologique d'une rivière polluée: l'Isere à l'aval de

- l'agglomération grenobloise. Th. Doct. de 3.^e cycle. Biologie animale - Ecologie. Univ. scientifique et médicale de Grenoble, p. 84.
25. ZOUAGHI, R. (1992): Étude de la pollution mercurielle des eaux et des sédiments, dans la région de Azzaba. Th. Mag. Chimie analytique et traitement des eaux. Univ. de Constantine, pp. 1-25, 43-45, 48, 51, 53, 54, 71-73.