

QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES DE LA ZONE MERCURIELLE NORD NUMIDIQUE (AZZABA), NORD EST ALGÉRIE. ÉVALUATION DE LA CONTAMINATION DE LA POPULATION PAR LE MERCURE INORGANIQUE.

Moussa BENHAMZA*, Nacer KHERICI*, Françoise PICARD-BONNAUD
et Abdelmalek NEZZAL*****

RÉSUMÉ

Les gisements mercurifères de la zone Nord numidique sont situés sur le flanc nord de la chaîne calcaire, au sud de la ville d'Azzaba, Nord-Est Algérie.

La zone d'étude est caractérisée par deux nappes aquifères. La nappe phréatique oligocène et la nappe profonde paléocène-éocène. Les deux nappes sont séparées par les roches imperméables du Paléozoïque et du Lutétien-Priabonien représentant la minéralisation mercurielle de cinabre (HgS) au sein des microbrèches calcaires, des argiles et des calcaires.

Les analyses ont concerné dix neuf sources et forages de la zone d'étude. Les faciès chimiques dominants sont le bicarbonaté calcique, le sulfaté calcique et le chloruré sodique. Les eaux de la nappe oligocène présentent des teneurs élevées en Hg qui peuvent atteindre 80 µg/l, par contre les teneurs maximales dans la nappe profonde sont de 7 µg/l, malgré que les faciès lithostratigraphiques dont les Clarke élevés en Hg sont les microbrèches calcaires (1,5 ppm) du Lutétien-Priabonien, alors que pour les roches oligocène la valeur est de 0,8 ppm.

Le coefficient de migration du Hg calculé dans la région est moyen (0.15) en fonction de la stabilité du cinabre, comparativement au zinc et au cuivre. L'enrichissement des eaux en Hg dans la nappe oligocène n'est donc pas le résultat du lessivage des formations encaissantes.

Le taux moyen du Hg inorganique urinaire chez les travailleurs de l'usine est de 650 µg/g de créatinine. Les signes cliniques d'une contamination mercurielle sont inexistants chez les enfants scolarisés de la ville d'Annaba (située à 80 km d'Azzaba et représentant un échantillon témoin) et sont en revanche bien visibles sur ceux d'Azzaba. Ces derniers présentent un taux moyen de 2,50 µg/g contre un taux de 0,45 µg/g pour ceux d'Annaba.

La norme acceptable pour le mercure de 1 µg est largement dépassée dans les eaux souterraines et chez la population d'Azzaba et est très probablement liée aux rejets hydriques de l'usine de mercure.

Mots Clés - Géologie - Eau - Mercure - Migration - Pollution - Normes.

* Université Badji Mokhtar Annaba - Algérie, Faculté des Sciences de la Terre – Département de Géologie
Tél., Fax : 038.87.65.62 - E-mail : moussa_benhamza@yahoo.fr

** Laboratoire des Sciences de l'Environnement et de l'Aménagement, Faculté des Sciences, Université d'Angers, UFR Sciences, 2 boulevard Lavoisier, Angers Cedex 01 49045, France.

***Médecine de travail, Centre Hospitalier Universitaire, Annaba, 23000, Algérie.

- *Manuscrit déposé le 13 Septembre 2006, accepté après révision le 18 Septembre 2007.*

**GROUND WATER QUALITY OF THE NORTH NUMIDIAN
MERCURIAL ZONE OF AZZABA, NORTH EST ALGERIA.
EVALUATION OF THE POPULATION CONTAMINATION BY
INORGANIC MERCURY.**

ABSTRACT

The mercurial layers of the Northern Numidian zone are located on the North side of the limestone chain, to the South of the city of Azzaba, North East Algeria. In this region, two aquiferous nappes having quite similar piezometric recharges were recognized. The Oligocene phreatic aquifer is composed of fissured sandstone alternating with argillaceous layers whereas the deep aquifer corresponds to Paleocene-Eocene sediments consisting of sandstones, limestones and conglomerates-breccia. The two aquifers are separated by impermeable clay, microbreccia and Palaeozoic limestone and Lutetian-Priabonian rocks. The latter are the host rocks of cinnabar mineralization.

Nineteen sources and wells from the two aquifers were sampled for chemical analyses. The most dominant facieses are bicarbonated calcic, sulfated calcic and chlorided sodic. Water of the phreatic nappe shows high Hg contents (up to $80 \mu\text{g.L}^{-1}$) whereas in the deep aquifer, Hg contents do not exceed $7 \mu\text{g.L}^{-1}$ though the high Hg Clarks are higher in the latter aquifer (1.5 ppm) than the phreatic (0.8 ppm). This can be attributed to the calculated migration coefficient of Hg which is moderate (0.15) compared to other chemical elements such as Zn and Cu relative to the cinnabar stability. The rise of Hg contamination in waters of the Oligocène is not the result of the leaching of the geological formation.

The medium inorganic Hg rate in the plant workers urine is about $650 \mu\text{g.G}^{-1}$ of creatinine. Moreover, clinical signs of Hg contamination within school children is compared between those of Azzaba region and those of Annaba, located 80 km east and taken as a non-contaminated reference. School children of Azzaba region have a mean rate of $2.50 \mu\text{g.G}^{-1}$ against a rate of $0.45 \mu\text{g.G}^{-1}$ for the Annaba school children.

The acceptable level of $1 \mu\text{g}$ of mercury is largely exceeded in ground water and in population living in the Azzaba region and is probably mostly related to the plant hydric waste.

Keywords - Geology - Water - Mercury - Migration - Pollution - Norms

QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES DE LA ZONE MERCURIELLE NORD NUMIDIQUE (AZZABA), NORD EST ALGÉRIE
EVALUATION DE LA CONTAMINATION DE LA POPULATION PAR LE MERCURE INORGANIQUE

I - INTRODUCTION

La région d'étude est située au nord-est de l'Algérie sur le flanc nord de la chaîne numidique à 30 km de Skikda et de 3 à 10 km d'Azzaba (fig. 1).

La géologie de la région est caractérisée par la présence de deux ensembles structuraux autochtones et allochtones.

L'autochtone est composé de dépôts de la dorsale kabyle comprenant des formations dont l'âge varie du Trias à l'Eocène supérieur. On y rencontre les dépôts disloqués du Paléocène avec des grès, calcaires, micro-brèches calcaires et des brèches, le Thanétien-Yprésien formé de grès quartzeux et de calcaire et de l'Yprésien-Lutétien constitué de conglomérats brèches calcaires, de micro-brèches calcaires et de calcaires gréseux.

L'allochtone est formé par une série d'écaillés faites de roches d'âge et de composition divers allant des schistes métamorphiques du Paléozoïque aux argiles de l'Oligocène (Bouarroudj, 1986).

Les gisements de mercure de la zone d'étude occupent une position géologique déterminée et sont regroupés en deux champs miniers. Le premier d'Ismaïl regroupant les trois gisements (Ras El Ma, Ismaïl et Guenicha) ayant pour horizon porteur de la minéralisation mercurielle, les conglomérats brèches calcaires de l'Yprésien-Luthétien. Le second de Mra-Sma constitué par les gisements (Mra-Sma I, Mra-Sma II et koudiat Sma) ayant pour horizon porteur de la minéralisation les pseudo-brèches calcaires du Campanien et les grès du Néocomien (Bouarroudj, 1986; Mezghache, 1989).

L'hydrogéologie de la région est caractérisée par deux nappes aquifères. La nappe phréatique oligocène où les roches aquifères sont les grès fissurés alternants avec des lits d'argiles et la

nappe profonde paléocène-éocène largement développée dans la région et où les eaux souterraines circulent au niveau des grès, calcaires, conglomérats, brèches, calcaires cavernaux fissurés et des grès calcaireux du Paléocène (fig. 2)

Ces deux nappes sont séparées par des roches imperméables du Paléozoïque et du Lutétien-Priabonien (Benhamza, 1996).

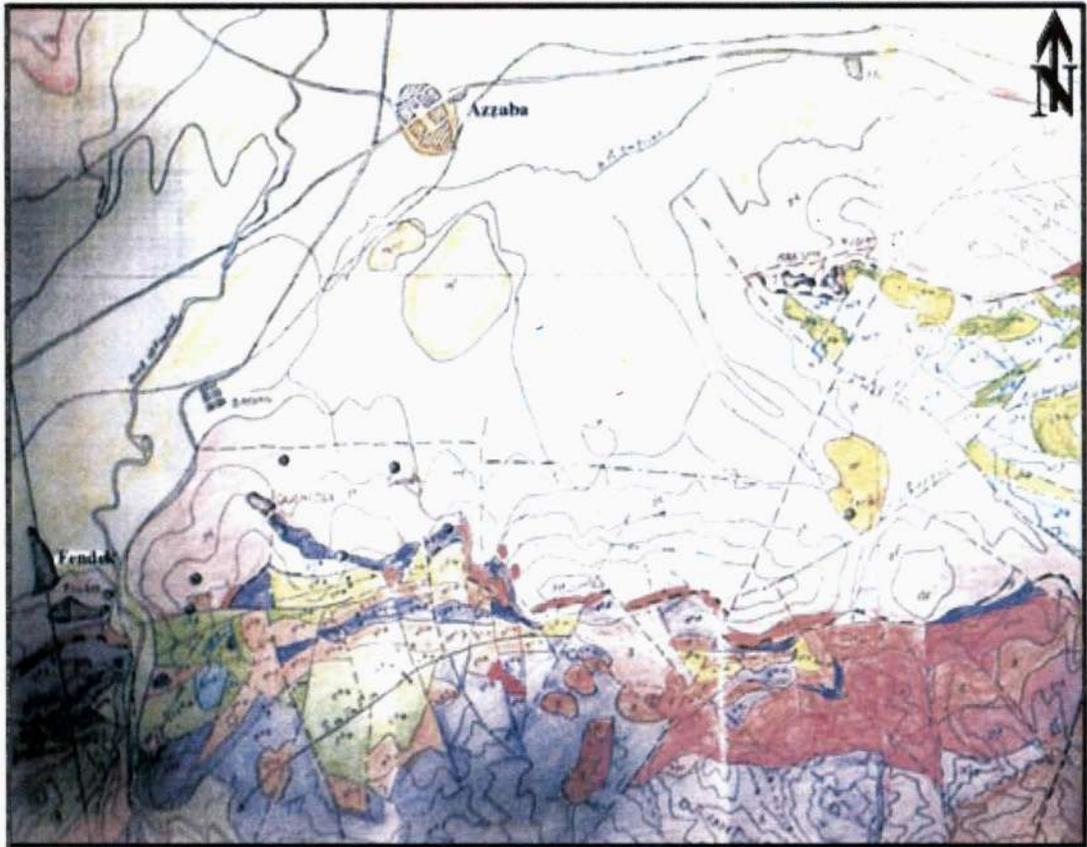
II - MÉTHODOLOGIE

Dix neuf (19) sources et forages des deux nappes aquifères ont été analysés, pour identifier les éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}), le pH, le résidu sec, le titre hydrotimétrique (TH) et la teneur en mercure (tableau I).

Les analyses ont été effectuées aux laboratoires du complexe pétrochimique de Skikda et de Boumerdès (Alger).

Les procédés de dosage sont déduits des méthodes d'analyses standard. Les duretés totale et calcique des échantillons sont déterminées par complexométrie, par titrage avec l'acide éthylène-diamine-tétracétique (EDTA). Les chlorures sont déterminés par la méthode de Mohr (Rodier, 1984) et les sulfates par lecture de l'absorbance à $\lambda=420$ nm pour une suspension obtenue par réaction des sulfates avec le chlorure de baryum. Le sodium et le potassium sont dosés par photométrie à émission de flamme (Rodier, 1984)

La détermination du mercure s'effectue en deux étapes. La première consiste à oxyder toutes les formes de mercure à l'état bivalent à l'aide d'une digestion acide en mercure élémentaire. Le mercure est extrait par barbotage d'air sec dans la solution. Le mélange gazeux est ensuite acheminé vers la cellule du spectrophotomètre d'absorption atomique sans flamme.



E : 1/25 000

Légende :

- | | | | |
|--|---|--|---|
| | Quaternaire : dépôt continentaux | | Jurassique inférieur: Dolomies calcaires Silex |
| | Miocène Burdigalien : Grès calcaireux à intercalation d'aleurolites, d'argiles et de conglomérats. | | Trias : Grès polygéniques, aleurolites, calcaires marneux, intercalations de dolomies. |
| | Micacés à intercalations | | Paléozoïque inférieur: Schistes métamorphiques à intercalations de marbre et de quartzites |
| | Lutétien supérieur-Priabonien : Argiles, Aleurolites, Grès polygéniques | | Protérozoïque inférieur : Gneiss |
| | Paléocène-Lutétien : Calcaire, conglomérats-brèches, microbrèches, calcaires-gréseux, calco-quartzeux | | Limites des nappes de chevauchements |
| | Campanien-Maestrichtien: Conglomérats-brèches, brèches calcaires, grès calco-quartzeux, intercalations d'argiles et d'aleurolites | | Fautes principales et secondaires |
| | Néocomien: Conglomérats, Conglomérats-brèches, Grès calcaireux, calcaire argileux, intercalations d'argiles et de silex. | | Contour des gisements et indices (a) de mercure (b) de plomb, de Zinc, de Cuivre |
| | Jurassique supérieur: Grès d'aleurolites, Schistes siliciteo-argillitiques, conglomérats brèches calcaires | | AXES :
(a) - des principaux anticlinaux et secondaires
(b) - des synclinaux
(c) - des plis renversés |

Fig. 1 : Carte géologique de la zone mercurielle Nord numidique
Geological map of the North Numidian mercurial zone

QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES DE LA ZONE MERCURIELLE NORD NUMIDIQUE (AZZABA), NORD EST ALGÉRIE
 EVALUATION DE LA CONTAMINATION DE LA POPULATION PAR LE MERCURE INORGANIQUE

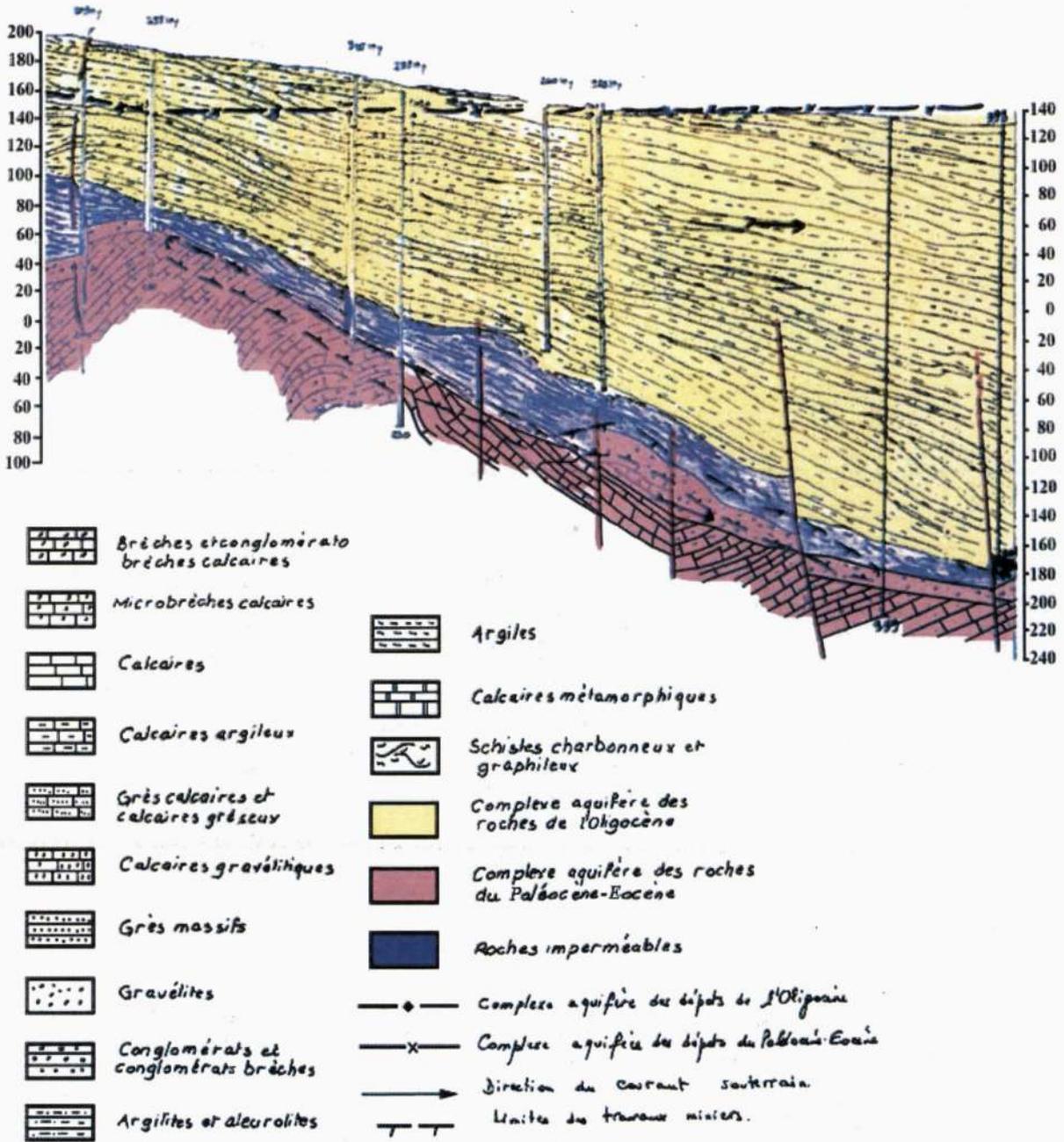


Fig. 2 - Coupe hydrogéologique de la zone Nord numidique
 Hydrogeological cross section of the North Numidian mercurial zone

La concentration de l'échantillon est déterminée par comparaison entre les absorbances respectives de l'échantillon et les solutions étalons.

La plage d'étalonnage se situe entre 0,1 µg/l et 1,5 µg/l Hg. Le domaine d'application peut être étendu en effectuant des dilutions appropriées (Charlot, 1978; Telliard, 2002)

III - RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

III - 1. Le faciès chimique

L'erreur de la balance ionique calculée sur les résultats des analyses chimiques est satisfaisante (< 5%). Le rapport cations sur anions est compris dans la limite acceptable [0,95 - 1,05], ce qui a

permis de vérifier la fiabilité des analyses et d'accepter les résultats (Schoeller, 1962).

La représentation des analyses sur le diagramme de Piper (fig. 3) révèle trois faciès chimiques. Le bicarbonaté calcique pour les eaux de la nappe paléocène-éocène, le chloruré sodique et le sulfaté calcique pour les eaux de la nappe oligocène (Schoeller, 1962; note technique DNEMT, 1996).

Le faciès chimique dominant; le bicarbonaté calcique représentant 95% des échantillons, s'explique conformément au réservoir du Paléocène-Eocène constitué de calcaires caverneux et fissurés et de grès calcaires du Paléocène (Benhamza, 1996; Benhamza, 2005).

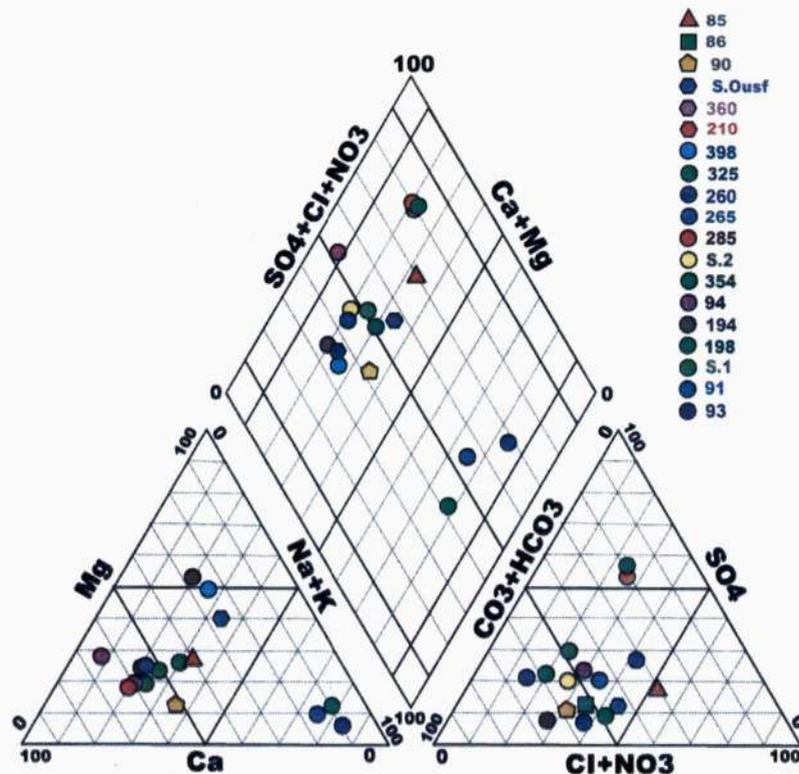


Fig. 3 - Représentation des analyses chimiques d'après le diagramme de Piper
Representation of chemical analysis according to the Piper diagram

QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES DE LA ZONE MERCURIELLE NORD NUMIDIQUE (AZZABA), NORD EST ALGÉRIE
EVALUATION DE LA CONTAMINATION DE LA POPULATION PAR LE MERCURE INORGANIQUE

Tableau I - Résultats des analyses chimiques
Chemical analysis results

N°	Gisement	Champ minier	Nappe	Désignation	PH	Résidu sec (mg/l)	TH(°F)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Hg (µg/l)
1	Ras el Ma	↑	e ¹⁻³	85	7.0	644	40	121	24	109	5.6	329	113	70	7
2			e ¹⁻³	86	7.0	588	41	129	22	131	4.4	341	95	76	7
3			e ¹⁻³	90	6.9	754	45	143	22	110	3.5	450	140	68	7
4			g ²	S.O	7.8	900	21	32	30	45	5.4	152	90	35	7
5	Ismail	ISMAIL	g ²	350	8.0	138	74	222	45	84	17	311	156	505	80
6			g ²	210	7.0	143	74	208	53	85	19	250	184	524	80
7			g ²	398	8.9	600	38	50	61	41	35	372	89	37	4
8			g ²	325	7.8	650	15	24	18	208	16	427	82	131	4
9			g ²	260	7.8	1050	16	26	9	253	15	274	213	184	5
10			g ²	265	8.0	800	17	21	16	208	15	213	142	139	5
11			e ¹⁻³	285	8.9	1170	67	206	37	74	6.6	213	163	450	5
12			g ²	S.2	7.5	1110	60	165	46	68	5.7	518	53	158	80
13			g ²	354	7.5	576	62	120	79	67	10	297	78	104	80
14			e ¹⁻³	94	7.0	761	60	166	44	19	9	381	135	150	1
15	Guenicha	↓	e ¹⁻³	194	7.0	590	38	50	61	41	3.5	372	89	37	6
16			e ¹⁻³	196	7.0	594	35	88	32	68	3	298	150	45	6
17			g ²	S.1	7.0	1061	56	154	43	84	6.5	402	107	194	80
18	MraSma	MraSma	e ¹⁻³	91	7.8	620	38	104	29	46	1.6	311	120	34	6
19			e ¹⁻³	93	7.0	820	47	138	31	67	13	300	120	50	1

Le faciès chloruré sodique se retrouve dans les eaux ayant pour réservoirs les grès et argiles de l'Oligocène. Le faciès sulfaté calcique s'explique par le lessivage des grès et des argiles prédominant dans les roches oligocènes, ce faciès provient en grande partie de la dissolution des sulfates de calcium contenus dans les inclusions évaporitiques de l'Oligocène.

III - 2. Le résidu sec

Les valeurs du résidu sec représentant le résidu après évaporation de l'eau révèlent que les eaux analysées présentent des teneurs acceptables. La norme tolérée de 1500 mg/l n'est dépassée par aucun point analysé (O.M.S, 1972).

III - 3. Le titre hydrotimétrique (TH)

D'après les normes de potabilité établies par l'O.M.S, 1972 (tableau II), les forages présentant des eaux de dureté moyenne à assez douce sont situés dans le champ minier d'Ismail captant la nappe oligocène (O.M.S, 1972).

Les points analysés représentant des eaux dures se trouvent dans les gisements de Ras El Ma et de Guenicha captant la nappe paléocène-éocène.

Les forages correspondant aux eaux très dures sont localisés dans les gisements Ismail et Guenicha captant la nappe paléocène-éocène (fig. 4).

Tableau II - Normes pour la dureté des eaux O.M.S (1972)

Water hardness norms O.M.S (1972)

TH (°F)	0-7	7-14	14-20	20-30	30-50	50°F et plus
Dureté de l'eau	Très douce	Douce	Moyennement douce	Assez douce	Dure	Très dure
N° des Forages correspondants	/	/	8-9-10	4	1-2-3-7-15-16-18-19	5-6-11-12-13-14-17

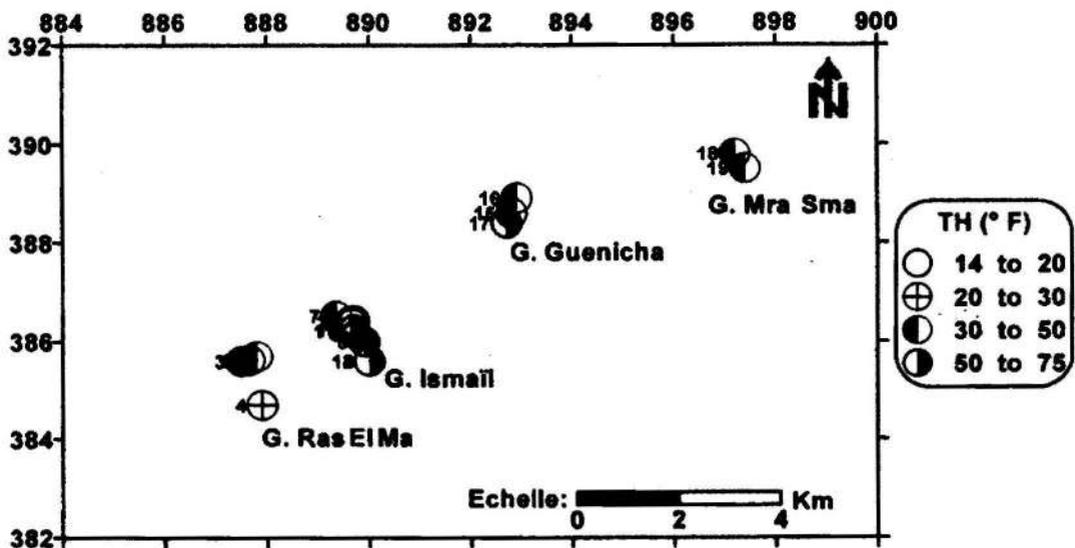


Fig. 4 - Carte du titre hydrotimétrique de la zone mercurielle Nord numidique (°F)

Map of water hardness in the North Numidian zone (°F)

QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES DE LA ZONE MERCURIELLE NORD NUMIDIQUE (AZZABA), NORD EST ALGÉRIE
EVALUATION DE LA CONTAMINATION DE LA POPULATION PAR LE MERCURE INORGANIQUE

III - 4. Teneurs en mercure

III - 4.1. Caractéristiques géochimiques de la zone Nord numidique

Bikmeev a étudié les caractéristiques géochimiques de la zone mercurielle Nord numidique à partir d'échantillons prélevés essentiellement sur des carottes de sondage et dosés par spectrométrie d'émission semi quantitative. Les résultats montrent que les faciès lithostratigraphiques présentant des Clarkes élevés en Hg sont les micro-brèches calcaires du Thanétien-Yprésien (1.5 ppm), les grès et conglomérats du Permo-Trias (1.4 ppm), les argiles et siltites du Lutétien-Priabonien (0.9 ppm); alors que les grès et les argiles de l'Oligocène présentent des teneurs de fond en Hg faibles (0,6 ppm) (Bikmeev, 1970).

III - 4.2. Migration des éléments

Le coefficient de migration d'un élément chimique est défini comme le rapport de sa teneur moyenne dans l'eau sur le Clarke de la roche dans laquelle circule cette eau.

$$A = (B/C) \times 10^{-4}$$

Où :

A = coefficient de migration.

B = teneur moyenne de l'élément dans l'eau.

C = Clarke de l'élément dans la roche.

Les résultats montrent que le mercure de la zone mercurielle Nord numidique présente un coefficient de migration moyen de 0.15 (tableau III) (Bikmeev, 1970; Bouarroudj, 1986).

III - 4.3. Classification des éléments

Le calcul du coefficient de migration permet de classer les éléments de la région d'étude en quatre groupes en fonction de leur intensité de migration (Bikmeev, 1970). Il en ressort que les éléments chalcophiles Zn et (As-Sb) sont plus mobiles que le Hg, Cu, Pb et (Sb-As) (tableau IV).

III - 4.4. Répartition des teneurs en mercure

La carte de la répartition du mercure dans les eaux souterraines de la région montre que les valeurs élevées sont situées au niveau du champ minier d'Ismail.

Les teneurs maximales de 80 µg/l sont localisées dans les forages 350, 210, 354 et les sources S.1 et S.2 captant l'Oligocène. Ces valeurs sont très élevées conformément à la norme tolérée pour le Hg de 1µg/l (O.M.S, 1980).

Sur la totalité des points analysés, seuls les forages 94 et 93 captant la nappe profonde du Paléocène-Eocène présentent la teneur minimale de 1µg/l (fig. 5)

Tableau III - Coefficients de migration dans la zone Nord numidique (Bikmeev, 1970)

Migration coefficient of the North Numidian zone (Bikmeev, 1970)

Eléments chimiques	Nombre d'échantillons	Coefficient de migration (A)	Eléments chimiques	Nombre d'échantillons	Coefficient de migration (A)
Soufre	30	563	Manganèse	30	0.15
Chlore	30	973	Fer	30	0.007
Sodium	29	6.51	Mercure	28	0.15
Potassium	28	0.82	Zinc	30	2.56
Calcium	35	5.75	Plomb	30	0.11
Strontium	30	5.60	Cuivre	30	0.31
Silice	30	0.11			

Tableau IV - Migration supergène des éléments chimiques dans la zone Nord numidique
Supergene migration of chemical element in the North numidian zone

Intensité de migration	Milieu oxydant						
	1000	100	10	1	0.1	0.01	0.001
très forte	Cl - S - Br						
forte			Ca - Na - Mg - Sr- Zn - (As-Sb) Mo - U				
moyenne					Mn - Cu - Hg - Pb - Sr - K - Ni - P - (Sb-As)		
faible et très faible							Fe - Al - Ti - Métaux précieux

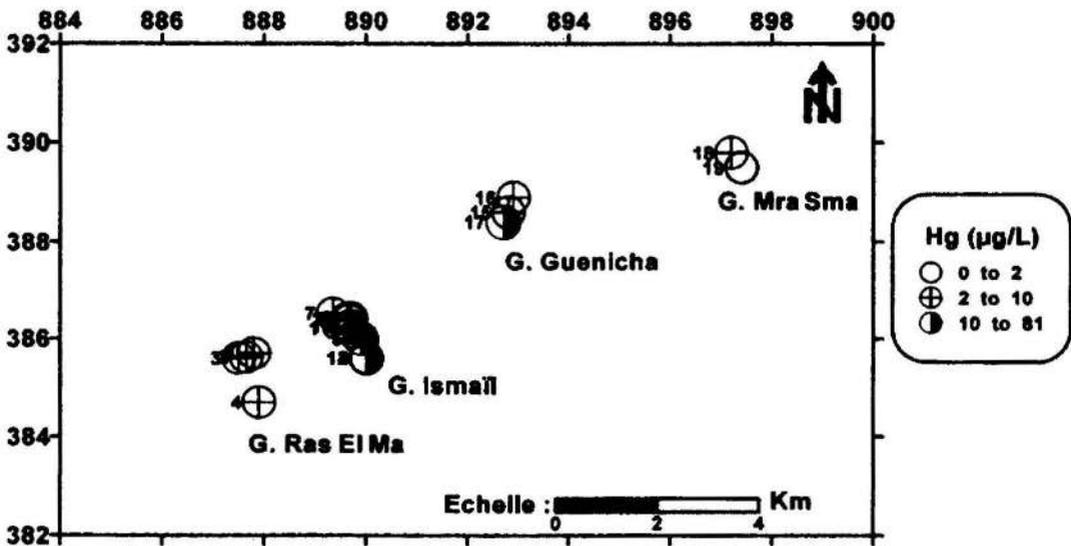


Fig. 5 - Carte de répartition du mercure dans la zone Nord numidique (µg/l)
Map of mercury distribution in the North Numidian zone (µg.L⁻¹)

La contamination par le mercure des eaux de la nappe oligocène est largement supérieure à celle du Paléocène-Eocène. Cette contamination n'est pas le résultat du lessivage des formations de cinabre, sachant que le mercure de la région présente un coefficient de migration moyen, qu'il est moins mobile que les éléments calcophiles et que les faciès présentant des Clarkes élevés en mercure se retrouvent dans la nappe profonde du Paléocène-Eocène (Benhamza, 1996; Benhamza et al., 2006).

La répartition du mercure dans les eaux souterraines de la région n'est donc pas en relation avec les faciès lithostratigraphiques à Clarkes élevés en mercure. Les études effectuées dans la région ont montré que l'usine de Hg présente une pollution hydrique et atmosphérique. Une partie des teneurs en mercure dans les eaux résulte du recyclage par les pluies du Hg atmosphérique dégagé par l'usine et la grande partie provient des rejets hydriques de cette dernière (Benhamza, 2005).

L'usine de mercure dispose de deux lacs de décantation non aménagés, où sont déversées les eaux de refroidissement du processus contaminées par le mercure. Lors des crues et en périodes hivernales, les eaux débordent les deux lacs et se déversent dans l'oued Fendek qui alimente la nappe phréatique oligocène présentant un toit gréseux perméable (Benhamza, 1996; Benhamza, 2005).

Les teneurs en mercure analysées durant l'année 2005 au niveau des deux lacs de décantation étaient respectivement de 110 µg/l et 97 µg/l. Le point de prélèvement situé au niveau de l'oued Zebda en amont de la source de pollution présentait la valeur de 5 µg/l, témoignant ainsi des retombées de la pollution atmosphérique. Les points situés dans l'oued Fendek, d'amont en aval présentaient des valeurs de 97 µg/l, 70 µg/l et 55 µg/l, en fonction de leur éloignement de l'usine de mercure (Benhamza, 2005, Benhamza et al., 2006).

IV - IMPRÉGNATION DE LA POPULATION PAR LE MERCURE INORGANIQUE

La concentration du mercure dans les urines semble être habituellement chez un sujet non exposé de l'ordre de 0.5 µg/l au maximum, bien que des valeurs nettement plus élevées aient été signalées, mais qui restent toujours inférieures à 25 µg/l (Buzina et al., 1989).

Un sujet normal excrète moins de 10 µg/j dans les urines (Langworth et al., 1992).

Le problème de la pollution par le mercure inorganique a fait l'objet de plusieurs études et publications dans le monde et en Algérie. La contamination par les vapeurs de mercure inorganique des travailleurs de l'usine d'Azzaba est bien connue (Service de toxicologie du CHU Mustapha-Alger, Service de Médecine du Travail du CHU de Annaba - Algérie) (Nezzal et al., 1994; Benhamza et al., 2006, Benhamza et al., 2007).

Le taux moyen de Hg urinaire inorganique chez les travailleurs de l'usine de mercure d'Azzaba variait de 18 à 188 µg/g de créatinine en 1991 et de 8 à 886 µg/g en 1993. (Nezzal et al., 1996). Ces résultats témoignent d'une contamination mercurielle chez les travailleurs de l'usine, mais cette dernière n'a par contre à aucun moment été démontrée chez la population résidant autour de l'usine.

Pour vérifier cette contamination, le projet de l'imprégnation mercurielle de la population résidant autour de l'usine de mercure a été décidé par les responsables du service de médecine du travail du Centre hospitalo-universitaire d'Annaba.

Une démarche a été développée visant à vérifier l'hypothèse de cette contamination sur la population d'enfants scolarisés dans la région d'Azzaba.

L'étude a porté sur un total de 88 travailleurs de l'usine, 354 enfants scolarisés dans la région d'Azzaba, aux environs de l'usine de mercure (1 à 7 km) et 124 enfants résidant dans la ville d'Annaba, à 80 km d'Azzaba et représentant une population témoin.

Pour le choix de l'âge des enfants scolarisés à Azzaba et Annaba concernés par cette étude, la moitié est en première année et l'autre moitié en sixième année primaire.

Le prélèvement consiste en un recueil des urines du matin au lever, dans un tube en verre, rempli au 2/3 pour éviter les bris au moment de la congélation. Le tube est remis la veille à l'élève qui le rapporte le lendemain matin.

Les échantillons sont codifiés, gardés dans un congélateur avant leur transport au laboratoire de toxicologie industrielle de Sider El-Hadjar (Annaba-Algérie) pour analyse, le délai entre le prélèvement et l'analyse n'a pas dépassé quinze jours.

L'analyse est faite selon la méthode de spectrophotométrie d'absorption atomique (vapeur froide). Dans les échantillons biologiques, le mercure se trouve lié aux groupements thiols, le chlorure d'étain (SnCl_2) ajouté aux échantillons brise ce lien et réduit le mercure à l'état métallique. Les vapeurs seront ensuite entraînées par un courant d'air jusqu'à une cellule placée dans

le faisceau d'une lampe EDL de mercure. L'absorbance est proportionnelle à la concentration (Nixon *et al.*, 1996).

La concentration de mercure dans les urines est corrigée par rapport à la créatinine urinaire.

La méthode d'analyse biologique est sensible au 1/100 $\mu\text{g/g}$ de créatinine.

Les résultats des analyses sont consignés dans le tableau V.

Les résultats des analyses montrent une moyenne élevée chez les travailleurs de l'usine de mercure (650 $\mu\text{g/g}$ de créatinine), témoignant ainsi d'une forte imprégnation, le minimum est de 2 $\mu\text{g/g}$ et le maximum de 13924 $\mu\text{g/g}$ de créatinine.

La moyenne chez les enfants scolarisés d'Annaba est de 0,45 $\mu\text{g/g}$, avec un minimum de 0 et un maximum de 4 $\mu\text{g/g}$.

Les résultats chez les enfants scolarisés de Azzaba montrent que sur un total de 354 élèves, la moyenne en Hg urinaire inorganique est de 2,49 $\mu\text{g/g}$ de créatinine, avec un minimum de 0 et un maximum de 17 $\mu\text{g/g}$.

Les symptômes de cette contamination mercurielle (tableau VI) correspondants aux signes cliniques (tremblements, test à l'écriture,

Tableau V - Hg urinaire inorganique en $\mu\text{g/g}$ de créatinine chez les travailleurs de l'usine, les écoliers d'Azzaba et d'Annaba.

*Inorganic urinary Hg ($\mu\text{g.g}$) of creatine within
the plant workers and pupils of Azzaba and Annaba.*

	Nombre	min	max	Moy
travailleurs				
Azzaba	88	2	13924	650
Elèves				
Azzaba	354	0	17	2.49
Elèves				
Annaba	124	0	4	0.45

QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES DE LA ZONE MERCURIELLE NORD NUMIDIQUE (AZZABA), NORD EST ALGÉRIE
EVALUATION DE LA CONTAMINATION DE LA POPULATION PAR LE MERCURE INORGANIQUE

Tableau VI - Signes cliniques chez les travailleurs de l'usine, les écoliers d'Annaba et d'Azzaba
Clinical signs within the plant workers and pupils of Annaba and Azzaba.

Signes Cliniques	Elèves Annaba (N = 124)	Elèves Azzaba (N = 354)	Travailleurs Usine (N = 88)
Tremblements	négatif	1.29 %	50 %
Test à l'écriture	négatif	0.41 %	50 %
Épreuve doigt nez	négatif	0.82 %	50 %

épreuve doigt nez), n'apparaissant d'habitude qu'à des taux de Hg supérieurs à 50 µg/g de créatinine inexistantes chez les élèves d'Annaba, sont quand même marqués chez ceux d'Azzaba et plus visibles chez les travailleurs de l'usine (O.M.S, 1980; Lauverys, 1992; Benhamza, 2007; Nezzal et al., 1991,).

V - CONCLUSION

Les eaux souterraines de la zone mercurielle Nord numidique présentent un faciès chimique dominant bicarbonaté calcique en relation avec les roches réservoirs du Paléocène-Eocène. Les faciès chloruré sodique et sulfaté calcique sont déduits de la composition des roches réservoirs de l'Oligocène représentées par les argiles et les grès .

Les eaux de la nappe profonde paléocène-éocène sont des eaux dures à très dures.

Le calcul des coefficients de migration des éléments chimiques dans la zone Nord numidique a montré que le mercure présente un coefficient de migration moyen (0.15) en fonction de la stabilité du cinabre.

La classification des éléments en fonction de leur coefficient de migration montre que le Hg, Cu, et Pb de la région sont moins mobiles que les éléments chalcophiles Zn et (As-Sb).

Les roches calcaires et les grès carbonatés de la dorsale présentent des teneurs de fond en

mercure très variables (0.9 à 1.5) ppm, par contre les grès et les argiles de l'Oligocène présentent des teneurs de 0.6 ppm.

Les teneurs élevées en Hg dans les eaux analysées, jusqu'à 80 µg/l sont retrouvées dans les puits captant l'Oligocène, alors que les eaux de la nappe paléocène-éocène présentent des teneurs en Hg relativement faibles (< 7 µg/l).

La contamination de la nappe phréatique oligocène n'est donc pas le résultat des formations, présentant des faciès lithostratigraphiques à Clarkes élevés en Hg.

Les teneurs en mercure retrouvées dans les eaux souterraines de la région sont très élevées et dépassent la norme de 1µg/l, témoignant ainsi de la contamination de la nappe phréatique oligocène. Les teneurs excessives en mercure dans les eaux de surfaces et souterraines sont très probablement le résultat de la contamination par les rejets hydriques de l'usine de mercure.

L'imprégnation par le mercure inorganique des travailleurs de l'usine de Hg d'Azzaba est indéniable. Chez les enfants scolarisés dans la région d'Azzaba, elle est faible mais constitue une réalité. Les teneurs en mercure urinaire chez ces enfants sont plus élevées, que chez ceux d'Annaba.

Les symptômes de cette contamination mercurielle, n'apparaissant d'habitude qu'à des taux de Hg inorganique supérieurs à 50 µg/g de créatinine inexistantes chez les écoliers

d'Annaba, sont quand même visibles chez les élèves d'Azzaba et plus marqués chez les travailleurs de l'usine de mercure.

Remerciements : M. Benhamza exprime ses remerciements aux responsables de l'ORGM Division Est Tébessa en l'occurrence Belhamiche A. et Bouarroudj M.T. et à toute l'équipe de l'ORGM de Tébessa qui n'ont pas hésité à mettre à notre disposition toutes les données géologiques et hydrogéologiques de la région.

Notre gratitude s'adresse également à la direction de l'environnement d'Azzaba.

Nos remerciements s'adressent au professeur Nezzal A.M du Centre hospitalo-universitaire d'Annaba, service médecine de travail, qui a bien voulu mettre à notre disposition les résultats d'analyses du mercure inorganique chez les travailleurs du complexe de mercure et les enfants scolarisés d'Azzaba et d'Annaba.

BIBLIOGRAPHIE

- BENHAMZA, M. 1996.** Etude hydrogéologique de la zone mercurielle de Fendek (Azzaba) - Conséquences de l'exploitation des gisements mercuriels sur l'environnement. *Thèse de magister de l'université de Annaba, Algérie.* 174p.
- BENHAMZA, M. 2005.** Application de l'Analyse en Composante Principale à l'évolution de la pollution mercurielle dans la région de Azzaba (1999, 2000, 2001). *1^{er} Colloque Euro-Méditerranéen en Biologie Végétale et Environnement*, les 28, 29 et 30 Novembre 2005, *Université Badji-Mokhtar- Annaba (Algérie).* 7p.
- BENHAMZA, M. 2005.** Qualité des eaux souterraines du district mercuriel de la zone mercurielle Nord numidique (Azzaba), N-E Algérie. *Séminaire National sur l'Industrie Minérale et l'Environnement. SNIME 2005*, Annaba les 6 et 7 Décembre 2005. 6p.
- BENHAMZA, M., KHERICI, N., NEZZAL, A. 2006.** Hydrochimie des eaux souterraines de la zone mercurielle Nord numidique (Azzaba), Nord-Est Algérie : Evaluation de la contamination mercurielle sur la population. *The third international conference on the « Water Resources in the Mediterranean Basin » Tripoli, Lebanon*, 1-3 November 2006. 5p.
- BENHAMZA, M. AND KHERICI, N. 2007.** Contamination of the underground water by the metallic micro-polluants in the Northern Numidian mercurial zone of Azzaba, North-East Algeria. *2^{ème} Colloque International sur l'Eau et l'Environnement, Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique (Blida)*, les 30 et 31 Janvier 2007. 10p.
- BENHAMZA, M. 2007.** Hydrochemistry of groundwater in the mercurial zone of Azzaba North East Algeria - Contamination of population by mercury. *Capacity Building in Environment-related Issues in Geomining and Coastal Zone Management organised by TWAS and FORGEA INTERNATIONAL at Iglesias-Monteponi, Italy* from 26 February to 9 March 2007. 10 p.
- BIKMEEV, R. 1970.** Rapport sur l'étude géochimique, (*Rapport E.R.E.M, inédit*).
- BOUARROUDJ, M.T. 1986.** Les minéralisations à Hg, Pb, Zn, Cu, Ba de la zone Nord numidique du Nord de l'Algérie orientale - Métallogénie et recherche de guides de prospection. *Thèse de Docteur ingénieur, Université Pierre et Marie Curie, ParisVI.* 242p.
- BUZINA, R., SUBOTICA, J., VUKUSIC, J., SAPUNAR, K. AND ANTONIC, 1989.** Effects of Industrial Pollution on Seafood Content and Dietary Total and Methyl Mercury: *The Science of Total Environment*, 78p., 45-57
- CHARLOT, G. 1978.** Dosages absorptiométriques des éléments minéraux. *Masson, Paris-New york Barcelone-Milan.* 443p.
- LANGWORTH, S., ALMKVIST, O., SODERMAN, E. AND WIKSTROM, B.O. 1992.** Effects of occupational exposure to mercury vapour on the central nervous system: *British Journal of Industrial Medicine*, 49p, 545 - 555
- LAUVERYS, R. 1992.** Toxicologie industrielle et intoxication professionnelle. *Ed. Masson.*
- MEZGHACHE, H. 1989.** Cartographie automatique et interprétation géostatistique d'une campagne de prospection géochimique sur sol - Application à la zone mercurielle Nord numidique (Algérie). *Thèse de Docteur de l'INPL.* 178 p.

QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES DE LA ZONE MERCURIELLE NORD NUMIDIQUE (AZZABA), NORD EST ALGÉRIE
EVALUATION DE LA CONTAMINATION DE LA POPULATION PAR LE MERCURE INORGANIQUE

- NEZZAL, A.M., GUEROUI, S. ET TOURAB, DJ. 1994.** L'intoxication chronique au mercure dans la région de Annaba. *3^{ème} Conférence Panafricaine de Santé au travail, Le Caire du 7 au 11 décembre 1994.*
- NEZZAL, AM., NEZZAL, AZ., GUEROUI, S., KHÈNE, M., GHORAB, S. ET BACHTARZI, T. 1996.** Pollution par le mercure et effets sur la santé des travailleurs et de la population environnante, *10^{ème} JNMT Alger les 7, 8 et 9 Mai 1996.*
- NEZZAL, AM., TOURAB, DJ., GUEROUI, S. ET NEZZAL, AZ. 1991.** Manifestations neuropsychiques observées au cours de l'intoxication chronique au mercure inorganique : *7^{ème} JNMT Oran 1991.*
- NIXON, D.E., MUSSMAN, G.V. AND MOYER, T.P. 1996.** Inorganic, organic, and total mercury in blood and urine: cold vapour analysis with automated flow injection sample delivery. *Journal of analytical toxicology*, 20 (1), pp. 17-22.
- NOTE TECHNIQUE DNEMT n° 8, 1996.** Représentation graphique des résultats d'analyses eau minérale. *Division Nationale des Eaux Minérales et Thermales, Bureau de Recherche Géologique et Minière.*
- OMS, 1972.** Normes internationales applicables à l'eau de boisson, *Genève.*
- OMS, 1980.** Exposition aux métaux lourds : Limites Recommandations d'exposition professionnelle; *Rapport d'un groupe de l'OMS.*
- RODIER, J. 1984.** L'analyse de l'eau ; eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, *7^{ème} édition, Ed. Dunod, Paris.*
- SCHOELLER, H. 1962.** Les eaux souterraines, hydrologie dynamique et chimique, Recherche, Exploitation et Evaluation des Ressources, *Edition Masson et C^{ie}, Paris. 579 p.*
- TELLIARD, W.A. 2002.** Engineering and Analysis Division (4303) U.S Environmental Protection Agency. *Method 1631, Revision C: Mercury in water by oxidation, Purge and trap, and Cold Vapour Atomic fluorescence Spectrometry.*