

**CONTAMINATION PAR LES MICROPOLUANTS METALLIQUES DES EAUX
SOUTERRAINES DE LA ZONE MERCURIELLE NORD NUMIDIQUE
(AZZABA), NORD EST ALGERIE**
**CONTAMINATION OF THE UNDERGROUND WATER BY THE METALLIC
MICROPOLLUANTS IN THE NOTHERN NUMIDIAN MERCURIAL ZONE
(AZZABA), NORTH EAST ALGERIA**

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

KHERICI Nacer. Université Badji Mokhtar Annaba - Algérie, Faculté des Sciences de la Terre. Département de Géologie Tél., Fax : 038.87.65.62

Résumé : Les gisements mercurifères de la zone Nord Numidique sont situés sur le flanc Nord de la chaîne calcaire, au Sud de la ville de Azzaba, Nord-est Algérie. La zone Nord Numidique est subdivisée en deux parties de composition litho chimique différentes. La partie Nord est constituée de grès et d'argiles Oligocène (g^2), la partie Sud est formée par les roches calcaires, les micro brèches calcaires et les grès carbonatés de la dorsale Kabyle (chaîne calcaire). Les différents indices minéralisés affleurant dans la dorsale kabyle sont classés en polymétalliques (Pb, Zn, Cu) et mercuropolymétalliques (Hg, Pb, Zn, Cu). Les argiles et les grès de l'Oligocène présentent des teneurs en fond géochimique en Hg faible (0.6 ppm), Pb (30 ppm), Zn (60 ppm), par contre celle du cuivre est relativement élevée (80 ppm). Pour les roches calcaires et les grès carbonatés de la dorsale, les teneurs en fond du mercure sont variables de 0.2 à 1.5 ppm ; les teneurs en Cu, Pb et Zn sont aussi élevées. La zone d'étude est caractérisée par deux nappes aquifères. La nappe phréatique Oligocène et la nappe profonde du Palécène-éocène, qui sont séparées par les roches imperméables du Paléozoïque et du lutétien-Priabonien, qui représente la minéralisation mercurielle de Cinabre (HgS) caractérisée par des microbrèches calcaires, des argiles et des calcaires. Les résultats d'analyses sur neuf forages et deux sources dans les deux différents aquifères montrent trois principaux faciès le bicarbonaté calcique, le sulfaté calcique et le bicarbonaté magnésien.

L'analyse à composante principale (A.C.P) a permis de regrouper d'un côté les individus étudiés selon leur faciès chimique et d'un autre côté a pu regrouper les individus présentant des teneurs élevées en Hg et en Pb. Les eaux souterraines des forages N° 350, 210 et 354 ainsi que la source N° 2 captant l'Oligocène présentent des teneurs élevées en plomb et surtout en mercure. Ces résultats ne sont pas en corrélation avec les coefficients de migration faibles à moyens pour le Hg et le Plomb calculé dans la région, comparativement au zinc et à l'arsenic. Cet enrichissement des eaux en Hg et en Pb dans la nappe Oligocène n'est donc pas du au lessivage des formations géologiques encaissantes mais plutôt aux rejets hydriques de l'usine de mercure.

Mots Clés : eau, micropolluants métalliques, pollution.

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, Northeast Algeria.

The northern Numidian zone is subdivided in two parts of different litho-chemical composition. The North part is constituted of sandstone and clays of Oligocene, the South part, representing the Kabyle dorsal (limestone chain), is formed by limestone rocks, the micro breccias and carbonated sandstone. The different mineralized indices shown on the surface of the kabyle dorsal are classified as polymetallics (Pb, Zn, Cu) and mercurial polymetallics (Hg, Pb, Zn, Cu). The clays and the sandstone of the Oligocene present some variable contents in the geochemical bottom, weak for Hg (0.6 ppm), Pb (30 ppm), Zn (60 ppm); on the other hand, that of the copper is relatively high (80 ppm). For the limestone rocks and carbonated sandstone of the dorsal, the contents in bottom of mercury are variable from 0.2 to 1.5 ppm; the contents in Cu, Pb and Zns are also high. The study area is characterized by two aquifers. The Oligocene aquifer and the deep aquifer of Paleocene-Eocene age. These two aquifers are separated by the impermeable rocks of the Paleozoic and the Lutetian-Priabonian, which represents the mercurial mineralization of Cinnabar (HgS), characterized by breccias limestone, clays and limestone. The results of the analyses of the nine drilling wells and two springs in the two different aquifers show three main facies: the bicarbonated calcic facies, the sulphated calcic and the chlorinated magnesian facies. The analysis using the multivariate regression (A.C.P) has permitted to regroup the studied individuals according to their chemical facies and to their high contents of Hg and Pb, that these individuals can present. The underground water of the drilling wells 350, 210 and 354 as well as the spring S.2 that captures the Oligocene formation, present high contents of lead and mercury in particular. These results are highly interrelated to the weak-medium coefficients of migration for the Hg and Lead, calculated in the deep water layers of this region. The enrichment of water in Hg and Pb in the Oligocene layer is not, therefore, due to the washing of the embanked geological formations in accordance with their weak-medium coefficients of migrations but rather to waste water from the mercury factory.

Key words: water, metallic micropolluants, pollution.

INTRODUCTION

Cette étude consiste à voir la relation entre les teneurs en micropolluants métalliques dans les eaux souterraines, les faciès litho stratigraphiques de la région, les coefficients de migration des éléments chimiques et leur classification.

La région d'étude est située au Nord de l'Algérie sur le flanc Nord de la chaîne Numidique à 30 Km de Skikda et de 3 à 10 Km de Azzaba.

Les différents indices minéralisés affleurant dans la région sont classés en poly métalliques (Pb, Zn, Cu) et mercuropolymétalliques (Hg, Pb, Zn, Cu).

L'usine de mercure (production de Hg à partir du cinabre) implantée dans la région représente la source de pollution potentielle en Hg pour l'environnement.

GEOLOGIE, HYDROGEOLOGIE

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

Cette région est située au Nord de l'Algérie sur le flanc Nord de la chaîne Numidique à 30 Km de Skikda et de 3 à 10 Km de Azzaba (Fig. 1).

L'autochtone est composé de dépôts de la dorsale Kabyle comprenant des formations dont l'âge varie du Trias à l'Eocène supérieur, on rencontre les dépôts disloqués du Paléocène (e¹) avec des grès, calcaires, micro brèches calcaires et des brèches, le Thanétien-hyprésien (e²⁻³) formé de grès quartzeux et de calcaire et de l'Hyprésien-luthétien (e³⁻⁴) constitué de conglomérats brèches calcaires, de micro brèches calcaires et de calcaires gréseux.

L'allochtone est formé par une série d'écaillés de composition diverses allant des schistes métamorphiques du Paléozoïque aux argiles de l'Oligocène (g²) (Bouarroudj, 1986).

Les gisements de mercure du district occupent une position géologique déterminée et sont regroupés en deux champs miniers. Le premier champ minier 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'Hyprésien-luthétien. Le champ minier de Mra-Sma constitué par les gisements (Mra-Sma I, MraSma II et koudiat Sma) qui a pour horizon porteur de la minéralisation les pseudo-brèches calcaires du Campanien et les grès du Néocomien (Bouarroudj, 1986 ; Mezghache, 1989).

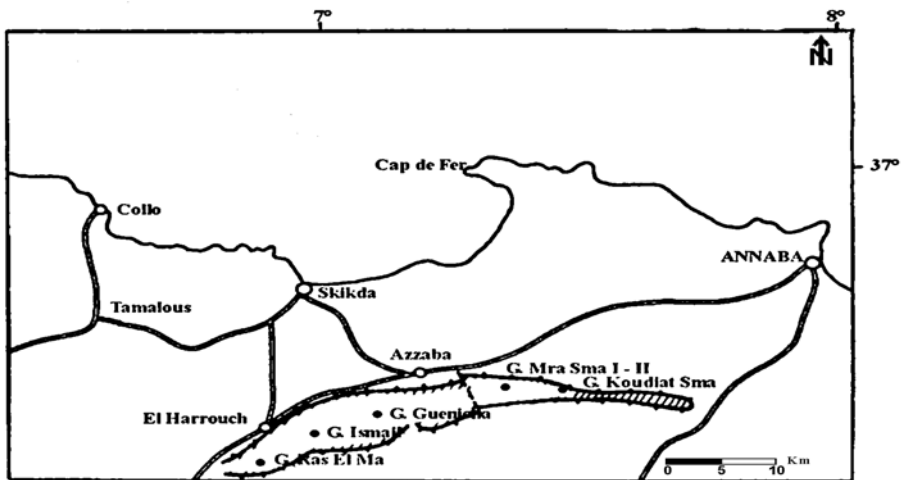


Fig. 1. Situation géographique de la zone mercurielle Nord Numidique
Location map of the North Numidian mercurial zone

La région d'étude est caractérisée par deux nappes aquifères. La nappe Oligocène où les roches aquifères sont les grès fissurés alternant avec des lits d'argiles. La nappe profonde Paléocène-Eocène largement développée dans notre région d'étude et où les eaux souterraines s'associent aux grès, aux calcaires, aux conglomérats brèches, aux calcaires caverneux fissurés et aux grès calcaireux du Paléocène.

Ces deux complexes sont séparés par des roches imperméables du Paléozoïque et du Luthétien-Priabonien (Benhamza, 1996).

CARACTERISTIQUES GEOCHIMIQUES DE LA ZONE NORD NUMIDIQUE

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

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

D'après Bikmeev (Tableau 1) le mercure et le Plomb de la zone mercurielle Nord Numidique présentent respectivement des coefficients de migration faible à moyen de 0.15 et 0.11 (Bikmeev, 1970 ; Bouarroudj, 1986).

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 1 : 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			

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Neuf (9) forages et les deux (2) sources dans deux nappes aquifères ont été analysées, 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, le Hg, le Cu, le Pb, le Zn et l'Arsenic (Tab. 2). Les analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire de l'E.R.E.M de Skikda.

Le Faciès chimique

La représentation des analyses sur le diagramme de Piper (Fig. 2), fait ressortir trois faciès chimiques : le bicarbonaté calcique pour les points (1, 2, 5, 8, 9, 10 et 11), le sulfaté calcique (3, 4, 7) et le chloruré magnésien pour la source S.2. (Schoeller, 1962 ; Note technique DNEMT, 1996). Le faciès chimique dominant le bicarbonaté calcique s'explique conformément au réservoir de du Paléocène éocène constitué de calcaires caverneux et fissurés et de grès calcaires du Paléocène (Benhamza, 1996 ; Benhamza, 2005).

Tableau 2 : Résultats des analyses chimiques / Results of chemical analysis

N°	Gisem	Cham	Nappe	Désignation	PH	Résidu sec	TH (°C)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺	K ⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
1	Ras El	S M A I L	e ₁₋₃	90	6.9	754	45	143	22	110	3.5	450	140	68
2			σ ₂	S.1	7.8	900	21	32	30	45	5.4	152	90	35
3			σ ₂	350	8.0	138	74	222	45	84	17	311	156	505
4			σ ₂	210	7.0	143	74	208	53	85	19	250	184	524
5	Ismail		σ ₂	398	8.9	600	38	50	61	41	35	372	89	37
6			e ₁₋₃	S.2	7.5	1110	60	165	46	68	5.7	518	53	158
7			σ ₂	354	7.5	576	62	120	79	67	10	297	78	104
8	Guenicha		e ₁₋₃	194	7.0	590	38	50	61	41	3.5	372	89	37
9			e ₁₋₃	196	7.0	594	35	88	32	68	3	298	150	45
10	Mra Sma		e ₁₋₃	91	7.8	620	38	104	29	46	1.6	311	120	34
11			e ₁₋₃	93	7.0	820	47	138	31	67	13	300	120	50

Désignation	Hg (mg/l)	Cu (mg/l)	Pb (mg/l)	As (mg/l)	Zn (mg/l)
90	0.007	0.003	0.007	0.003	0.07
S.1	0.008	0.008	0.008	0.008	0.08
350	0.08	0.002	0.06	0.02	0.01
210	0.08	0.002	0.06	0.02	0.01
398	0.004	0.002	0.004	0.02	0.04
S.2	0.08	0.002	0.06	0.02	0.01
354	0.08	0.002	0.08	0.02	0.08
194	0.006	0.20	0.03	0.02	0.06
196	0.006	0.30	0.03	0.03	0.06
91	0.006	0.02	0.02	0.02	0.20
93	0.001	0.02	0.02	0.02	0.20

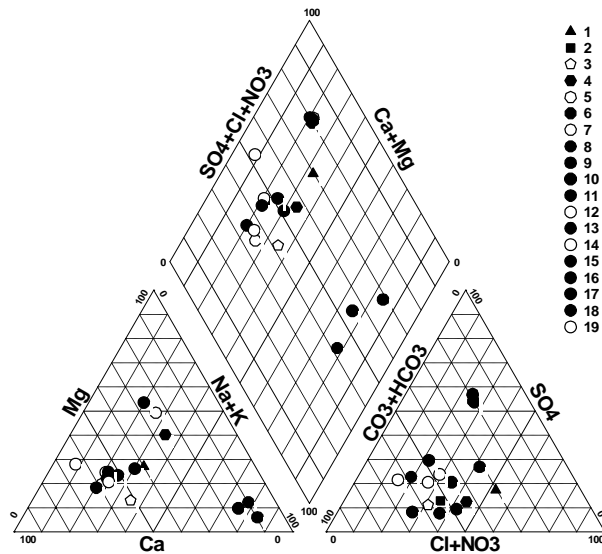


Fig. 2 : Représentation des analyses chimiques d'après le Diagramme de Piper
Representation of chemical data on the Piper diagram

Teneurs en micropolluants métalliques

Les résultats des analyses des micropolluants métalliques montrent des teneurs élevées en Hg et en Pb. Pour le Hg les valeurs excessivement élevées de l'ordre de 80 µg/L sont localisées dans les forages 350, 210, 354 captant l'Oligocène ainsi que la source S.2. Il en est de même pour le Pb où les teneurs varient de 60 à 80 µg/L.

Ces valeurs sont très élevées conformément aux normes pour le Hg et le Pb qui sont respectivement de 1µg/L et de 50 µg/L (O.M.S, 1980).

Sur la totalité des points analysés, seul le forage 93 captant la nappe profonde Paléocène-Eocène présente la teneur minimale en Hg de 1µg/L.

La contamination des eaux de la nappe Oligocène par le Hg et le Pb est donc largement supérieure à celle du Paléocène-Eocène, elle n'est donc pas due au lessivage des formations géologiques, sachant que le Hg et le Pb dans la région d'étude ont des coefficients de migration faibles à moyens et que les faciès présentant des Clarke élevés en Hg sont localisés dans la nappe Paléocène-Eocène (Benhamza, 1996 ; Benhamza et al., 2006).

Les travaux effectués dans la région ont montré que l'usine de Hg présente une double pollution atmosphérique et hydrique, en effet une partie des teneurs en mercure 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).

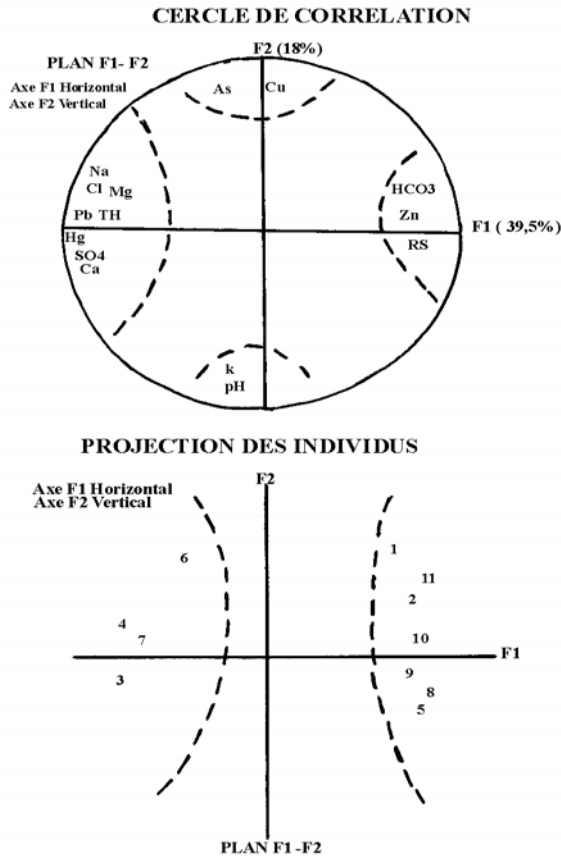
L'usine de mercure dispose de deux lacs de décantations non aménagés où sont déversées les eaux de refroidissement du processus contaminées par le mercure. Lors des crues en périodes hivernales les eaux débordent les deux lacs et se déversent dans le réseau hydrographique et notamment dans le principal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

Application de l'A.C.P

L'analyse à composante principale (A.C.P) a concerné les onze (11) individus analysés et 15 variables (pH, R.S, TH, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, Hg, Cu, Pb, Zn, As). Le coefficient de corrélation des micropolluants le plus élevé est celui du Hg, Pb (0,878).

L'inertie cumulée du cercle de corrélation F1-F2 est de 57,5% traduisant ainsi le maximum de l'information, l'axe F1 (39,5%) regroupe les éléments responsables des faciès chimiques et met en évidence le Hg et le Pb qui sont bien corrélés et représentent les éléments de pollution.

La projection des individus dans le plan F1-F2 montre que l'axe F1 regroupe les éléments présentant le même faciès chimique et regroupe dans un nuage de points les individus présentant les teneurs élevées en Hg et en Pb (Fig. 3).



CONCLUSION

Les eaux souterraines de la zone mercurielle Nord Numidique présentent un faciès chimique dominant le bicarbonaté calcique en relation avec les roches réservoirs du Paléocène-Eocène.

Le mercure et le Plomb de la zone d'étude présentent respectivement des coefficients de migration faible à moyen de 0.15 et 0.11

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

Les teneurs élevées en Hg et en Pb dans les eaux analysées, jusqu'à (80 µg/L) ont été retrouvées dans la nappe Oligocène ; alors que dans la nappe Paléocène-Eocène elles sont relativement faibles.

La contamination des eaux de la nappe Oligocène par le Hg et le Pb est donc largement supérieure à celle du Paléocène-Eocène, elle n'est donc pas due au lessivage des formations géologique, sachant que le Hg et le Pb dans la région d'étude ont des coefficients de migration faibles à moyens et que les faciès présentant des Clarke élevés en Hg sont localisés dans la nappe Paléocène-Eocène (Benhamza, 1996 ; Benhamza et al. 2006).

Des travaux effectués dans la région ont montré que l'usine de mercure présente une double pollution atmosphérique et hydrique, en effet une partie des teneurs en mercure 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).

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

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 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). 1er 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.**, **Nezza 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
- 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, Univ. Pierre et Marie Curie, ParisVI. 242p.
- 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.
- 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.
- Schoeller H., 1962. Les eaux souterraines, hydrologie dynamique et chimique, Recherche, Exploitation et Evaluation des Ressources, Ed. Masson et C^{ie}, Paris 579p