

Évaluation de l'impact de l'exploitation minière de l'or sur la qualité de la ressource en eau du bassin du Lom : Analyse statistique multivariée, Indice de qualité de l'eau et Interpolation spatiale

Assessment of the impact of gold mining on the quality of water resources in the Lom Basin: Multivariate statistical analysis, water quality index and spatial interpolation

BELLA ATANGANA Marie Sorella^{a, b}, NDAM NGOUPAYOU Jules Rémy^b, DELIEGE Jean-François ^a

^a Université de Liège, Aquapôle, Bat. B53 campus Sart-Tilman, 4000 Liège
aquapole@ulg.ac.be ;

^b Université de Yaoundé I, Département des Sciences de la Terre, Laboratoire d'hydrogéologie. 33088 Rte de L'Université, Yaoundé, Cameroun

RÉSUMÉ

Le bassin du Lom (Est Cameroun) est soumis à une intense exploitation minière artisanale et semi-mécanisée de l'or. Dans ces types d'exploitations, les sols sont mis à nus, fortement remaniés et le mercure est souvent utilisé pour extraire le minerai par amalgamation. Pour estimer l'impact des activités d'exploitation de l'or sur la qualité de la ressource en eau du bassin, des mesures ont été effectuées sur les eaux de surfaces de 17 stations regroupées en 2 secteurs. Ces mesures ont porté sur les concentrations des paramètres physiques (pH, OD, TDS, CE et MES), chimiques (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , NH_4^+ , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , F^- et PO_4^{3-}) et du mercure total (Hg tot.). Une analyse statistique multivariée [Analyse en Composants Principaux (ACP), matrice de corrélation de Pearson] a servi à représenter les variations des concentrations des paramètres physico-chimiques, à déterminer les principaux paramètres responsables de la qualité des eaux et à confirmer l'origine de la détérioration de la qualité de la ressource en eau. Un indice de qualité de l'eau [Water Quality Index (WQI)] a été calculé afin de classer les eaux du bassin par gamme de qualité allant d'excellente à très mauvaise. Enfin, l'analyse cartographique par interpolation spatiale a permis de réaliser des cartes de dispersion spatiale des teneurs en mercure du bassin. En guise de perspective, les résultats de cette étude vont permettre d'aborder la problématique de la qualité de l'eau du bassin par une approche de modélisation.

ABSTRACT

The Lom basin (East Cameroon) is subject to an intense artisanal and semi-mechanised gold mining. In these types of mining, soils are exposed, heavily reworked and mercury is often used to extract the ore by amalgamation. In order to estimate the impact of gold mining activities on the quality of the basin's water resources, measurements were carried out on the surface waters of 17 stations grouped into 2 sectors. These measurements concerned the concentrations of physical (pH, DO, TDS, EC and SS), chemical (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , NH_4^+ , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , F^- et PO_4^{3-}) parameters and total mercury (Hg tot.). A multivariate statistical analysis [Principal Component Analysis (PCA), Pearson correlation matrix] was used to represent the variations in the concentrations of the physico-chemical parameters, to determine the main parameters responsible for the quality of the water and to confirm the origin of the deterioration in the quality of the water resource. A Water Quality Index (WQI) was calculated to classify the waters of the basin by quality range from excellent to very poor. Finally, cartographic analysis by spatial interpolation was used to produce spatial dispersion maps of total mercury concentrations in the basin. The results of this study will allow us to address the problem of water quality in the basin using a modelling approach.

MOTS CLÉS

Analyse statistique multivariée, bassin du Lom, exploitation minière de l'or, interpolation spatiale, qualité de l'eau.

1 INTRODUCTION

Le bassin aurifère du Lom est soumis à une intense exploitation minière artisanale et semi-mécanisée. Près d'une centaine de sites d'exploitation à ciel ouvert y sont répertoriés dont la majorité utilise le mercure pour le traitement du minerai par amalgamation. La production mensuelle d'or du bassin en 2019 avoisinait 165 Kg et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) estime qu'il faut environ 1 g de mercure pour traiter 1 g d'or. La pollution mercurielle est une préoccupation environnementale mondiale car près de 5 à 45% du mercure utilisé dans les mines est directement rejeté en rivière, le reste peut être volatilisé sur des milliers de kilomètres. D'où l'intérêt de mettre en place une méthode pour l'analyse de la composition des eaux et la compréhension des processus. L'objectif de cette étude est de caractériser la qualité physico-chimique des eaux de surface du Lom et de confirmer l'origine de la détérioration de sa qualité, afin d'estimer l'impact des activités de l'exploitation minière de l'or sur la qualité de la ressource en eau du bassin.

2 MATERIEL ET MÉTHODE

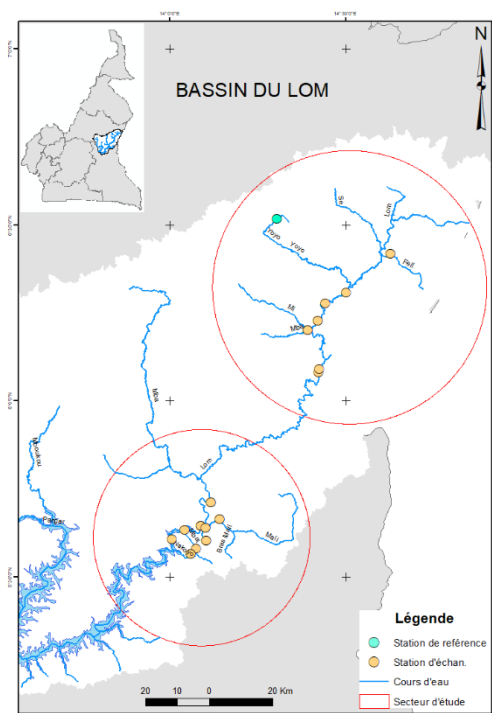


Figure 1 : Localisation des 17 stations d'échantillonnages sur le bassin du Lom

Deux secteurs représentatifs ont été circonscrits (cercle rouge) pour cette étude (fig.1) : celui de Meiganga (au NE, rayon de 45 Km); et celui de Bétaré-Oya (au SE, rayon de 35 Km). Dix-sept stations d'échantillonnage ont été sélectionnées dont 9 sur la rivière Lom et 8 sur ses principaux affluents (Yoyo, Fell, Mba, Mali, Bedjéré, Mbal, Nakoyo). La station de référence est localisée en amont du Bassin sur le cours Yoyo. Un total de 17 paramètres ont été mesurés dans les eaux de surface (pH, OD, CE, TDS et MES, Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , NH_4^+ , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , F^- et PO_4^{3-} et Hg).

L'analyse statistique multivariée par le logiciel XLSTAT a été utilisée pour (i) effectuer le bilan des variations des concentrations des paramètres ; (ii) étudier les relations entre les paramètres afin de déterminer les principaux paramètres responsables de la qualité des eaux (ACP) ; et (iii) calculer les coefficients de corrélation (r) entre les variables (matrice de Pearson) afin d'expliquer les liens et déterminer les origines probables des paramètres de qualité de l'eau. L'indice de qualité de l'eau d'Horton (1965) modifié (WQI) a été calculé pour classer les eaux analysées par gammes de qualité, afin d'en évaluer la qualité en vue de sa consommation. Enfin, l'interpolation spatiale (modèle IDW) dans le logiciel Arc GIS (10.7.1.) a permis de réaliser des cartes de dispersion spatiale des concentrations en mercure.

3 PRINCIPAUX RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Domaine de variations des paramètres

Les eaux du Lom sont légèrement acides à acides ($5.2 < \text{pH} < 6.5$), très faiblement minéralisées ($12.8 < \text{CE} < 93.4 \mu\text{S/cm}$), bien aérées ($7 < \text{OD} < 9.4 \text{ mg/L}$), et faiblement à très fortement chargées en matières en suspension ($12 < \text{MES} < 452 \text{ mg/L}$). L'ordre d'abondance des cations majeurs est le suivant : $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+$ et celui des anions majeurs est $\text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{F}^- > \text{PO}_4^{3-}$. Les teneurs en cations sont très faibles ($8.675 < \text{TZ}^+ < 89.182 \mu\text{éq/L}$) et traduisent un grand déficit cationique. Les concentrations en anions sont faibles à moyennes ($48.203 < \text{TZ}^- < 376.077 \mu\text{éq/L}$), indiquant un déficit anionique par endroit. Les concentrations en mercure varient de 0.001 à 0.031 mg/L avec une moyenne de 0.007 mg/L. 64.7% des échantillons ont des teneurs inférieures à la valeur seuil (0.006 mg/L) préconisée par l'OMS pour l'eau de boisson. Ils ont été prélevés en amont des sites miniers. 35.3% des eaux analysées ont des concentrations supérieures à la limite de potabilité et 17.64 % des eaux dépassent la valeur seuil de la norme camerounaise pour les rejets industriels.

3.2 Évaluation de la qualité des eaux et origine de la détérioration

L'indice de qualité (WQI) calculé varie de 47 à 1437 (fig.2), ce qui correspond à des gammes de qualité allant de "Excellente" à "Très mauvaise". 5.88% des échantillons sont d'excellente qualité, 5.88%

sont de bonne qualité, 17.65% sont de qualité douteuse, 23.53% sont de mauvaise qualité et 47.06% sont de très mauvaise qualité. L'échantillon de référence (MMeY01) présente une excellente qualité (WQI < 50). Les échantillons de qualité douteuse à très mauvaise proviennent principalement des sites miniers en activité (WQI > 100). Le coefficient de corrélation entre le WQI et les MES ($r = 0.97$) d'une part et entre le WQI et le Hg ($r = 0.72$) d'autre part, indique que ces 2 paramètres sont les principaux responsables de la qualité 'Douteuse' à 'Très mauvaise' localisée sur certaines rivières [200<WQI<300].

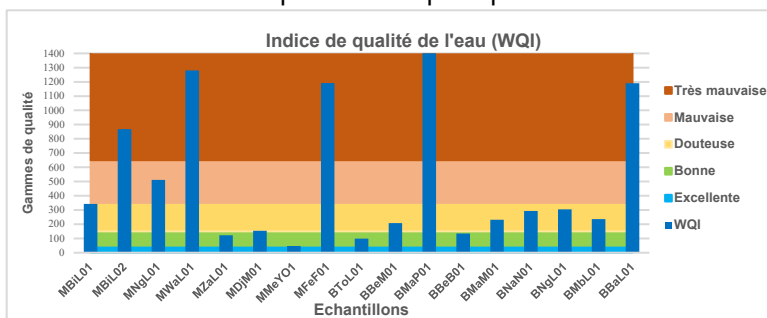


Figure 2 : Gammes d'indices de qualité des eaux

L'origine des paramètres physico-chimiques des eaux du Lom est à la fois naturelle et anthropique (fig.3). Le pH, les cations (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+}) et le SO_4^{2-} proviennent de l'altération chimique des roches acides qui constituent le substratum géologique du bassin et plus spécifiquement de l'hydrolyse des minéraux primaires silicatés. Les ions NH_4^+ , Cl^- , les MES et le Hg sont principalement issus des activités anthropiques. Les nitrates (NO_3^-) trouvent leur origine dans les pratiques agricoles tandis que les ions NH_4^+ sont issus des rejets domestiques. Le mercure et les MES présentent une bonne corrélation, leur lien met en exergue le transport d'une partie du Hg par adsorption à la surface des MES. Les valeurs maximales de Hg sont observées dans les sites miniers en activité et dans les lacs et/ou piscines de lavages du minerai où elles dépassent parfois de 3 à 5 fois les seuils préconisés pour la consommation humaine et également pour les rejets industriels.

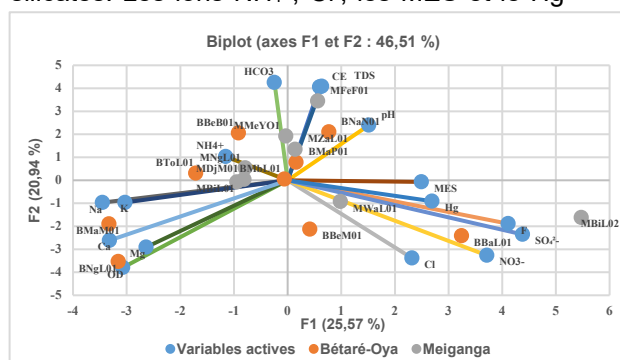


Figure 3 : ACP des variables sur le plan factoriel F1-F2

3.3 Distribution spatiale du mercure

La dispersion spatiale des concentrations en mercure par interpolation (fig.4) montrent en vert les zones peu ou pas affectées par la pollution mercurielle (<0.006 mg/L). Elles sont situées en amont des sites d'exploitation et/ou en agglomération. Les teneurs les plus élevées en Hg (0.025 à 0.036 mg/L) en rouge, correspondent aux sites miniers actifs et aux piscines et/ou lacs de lavage.

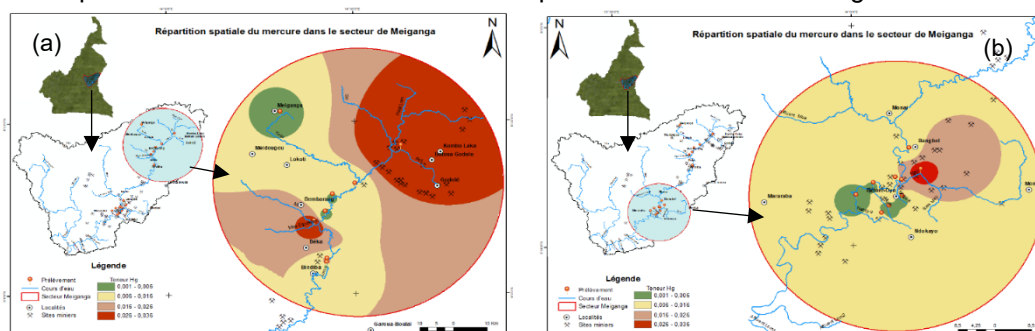


Figure 4 : Cartes de dispersion spatiale du mercure dans les secteurs de Meiganga (a) et Bétaré-Oya (b)

4 CONCLUSION ET PERSPECTIVE

L'étude a permis de mettre en évidence une pollution mercurielle des eaux de surface du Lom, induite par les activités d'exploitation de l'or et localisée aux sites miniers et à leur environnement direct. Elle a également mis en exergue le lien entre le mercure et les MES qui pourrait s'expliquer par le phénomène de transport du mercure par adsorption sur les MES. Ces résultats seront exploités dans une étude de modélisation pour la représentation spatiotemporelle du transport du mercure sous ses formes les plus évidentes (Hg, MeHg), d'amont en aval du bassin.

BIBLIOGRAPHIE

Rakotondrabe, F., Ngoupayou, J.R.N., Mfonka, Z. Rasolomanana, E.H., Abolo, A.J.N., Asone, B.L., Ako, A.A. and Rakotondrabe, M.H. (2017) Assessment of Surface Water Quality of Bétaré-Oya Gold Mining Area (East-Cameroon). Journal of Water Resource and Protection, 9, 960- 984. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2017.98064>.