



## RESEARCH ARTICLE

# CARACTERISATION MINERALOGIQUE ET EVALUATION DE LA CONTAMINATION PAR LES METAUX LOURDS DES SEDIMENTS DE LA RIVIERE MPASSA DANS LE SOUS-BASSIN DE FRANCEVILLE AU GABON

ONDO ZUE ABAGA Norbert <sup>1\*</sup>, MOMBO Stéphane<sup>2</sup> and MESSI ME NDONG Albert Novy<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Paléobiodiversité, Paléoenvironnement et Pétrologie, Unité de Recherche en Sciences de la Terre et de l'Environnement (URESTE), Université des Sciences et Techniques de Masuku (USTM), B.P. 913 Franceville, Gabon;

<sup>2</sup>Laboratoire de Physiologie Végétale et Protection des Plantes, Unité de Recherche Agrobiologie, Université des Sciences et Techniques de Masuku, Franceville, Gabon ; <sup>3</sup>Laboratoire de Chimie des Matériaux Inorganiques, Département de Chimie, Université des Sciences et Techniques de Masuku, Franceville, Gabon

## ARTICLE INFO

### Article History:

Received 11<sup>th</sup> May, 2025

Received in revised form

24<sup>th</sup> June, 2025

Accepted 19<sup>th</sup> July, 2025

Published online 30<sup>th</sup> August, 2025

### Keywords:

Minéralogie, métaux lourds, indice de pollution, sédiments de rivière, risque écologique, Gabon.

### \*Corresponding author:

ONDO ZUE ABAGA Norbert

## ABSTRACT

L'objectif de cette étude était d'identifier la source des sédiments prélevés le long de la rivière Mpassa, située dans le sous-bassin de Franceville au Gabon, et d'évaluer leur état de contamination en éléments traces métalliques. Pour cela, la composition minéralogique et les teneurs en Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn ont été analysées sur 15 échantillons prélevés dans 5 stations, respectivement par diffraction rayon X (DRX), et par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS). Les résultats montrent que le quartz est le minéral le plus abondant pour tous les échantillons ((81,7 - 95,7%), suivi par illite/mica (8,0 - 8,5%) et kaolinite (3,7 - 8,7%). D'après le cortège minéralogique, la source principale des sédiments étudiés serait liée à l'érosion des sols ferallitiques surélevés aux alentours. Les résultats montrent que les éléments traces métalliques Pb, Cd et Zn présentent des teneurs supérieures à la concentration moyenne dans la croûte continentale (UCC). Cependant, seules les valeurs du degré de contamination pour Pb et Cd ( $8 < DC < 16$ ) indiquent un degré de contamination modéré pour tous les sédiments, exceptés ceux prélevés dans la station Mangoungou (Mg). Finalement, le cadmium (Cd) semble le métal le plus dangereux, avec ses fortes valeurs de risque écologique ( $40 \leq Er < 80$ ) dans trois stations : Saint Hilaire (Sh :  $Er = 56,2$ ), Kiki (Ki :  $Er = 60,8$ ), et Point-confluence (Pc :  $Er = 44,4$ ). Ces résultats indiquent un risque de contamination modérée par Cd pour la biocénose, notamment pour les deux stations les plus contaminées, Saint Hilaire (Sh) et Kiki (Ki), avec les valeurs du risque potentiel  $95 \leq Ri < 190$ ).

Copyright©2025, ONDO ZUE ABAGA Norbert et al. 2025. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Citation:** ONDO ZUE ABAGA Norbert, MOMBO Stéphane and MESSI ME NDONG Albert Novy. 2025. "Caractérisation minéralogique et évaluation de la contamination par les métaux lourds des sédiments de la rivière mpassa dans le bassin de franceville au Gabon.". *International Journal of Current Research*, 17, (08), 34393-34398.

## INTRODUCTION

Les sédiments aquatiques sont essentiellement des produits résiduels issus de l'altération des roches. Cependant leurs compositions physicochimiques peuvent être modifiées par les apports anthropiques de plus en plus importants dans des zones urbaines et périurbaines. Par exemple il a été reporté que l'intensification de l'urbanisation augmente considérablement la pollution des écosystèmes aquatiques due au fait que les sédiments peuvent facilement absorber les éléments traces métalliques sous forme précipitée ou complexée (Martinez et Poletto, 2014). Actuellement, l'un des enjeux majeur pour la gestion durable de l'environnement est la préservation des écosystèmes aquatiques. Ainsi, la caractérisation minéralogique et géochimique des sédiments est importante afin d'identifier leurs principales origines et de reconstituer leur environnement de dépôt (Omotoye et al., 2016) d'une part, et d'évaluer leur niveau de pollution d'autre part. En effet, les cortèges minéralogiques constituent des indicateurs standards de la géologie régionale et des caractéristiques des processus d'altération et d'érosion impliquées (Bernadez et al., 2012). En revanche, les compositions en éléments

traces métalliques des sédiments sont contrôlées d'une part par la lithologie et d'autre part par les activités anthropiques et peuvent être utilisés pour l'identification des processus géochimiques spécifiques et la provenance des matériaux solides (Wu et al., 2013). Du point de vue environnemental, les éléments traces peuvent être considérés comme outils nécessaire pour évaluer l'état de santé des écosystèmes aquatiques. La Mpassa est une rivière qui traverse toute la ville de Franceville située au sud-est du Gabon où affleurent les roches sédimentaires du bassin Francevillien d'âge paléoproterozoïque, notamment les grès conglomératiques, les ampélites et les jaspes. Certains travaux ont montré une contamination en éléments traces métalliques, de source géogénique, des sols développés sur les ampélites et les jaspes (Ondo Zue Abaga et al., 2023) ; avec des concentrations en As, Ba, Cd, Cu, Pb et U plus importantes que celle de la composition moyenne de la croûte continentale (UCC) (Rudnick et Gao, 2003). L'érosion des sols environnants et des roches sous-jacentes pourraient ainsi contribuer à favoriser l'accumulation des ETM dans les sédiments de la Mpassa. Par ailleurs, les déchets solides et les rejets des activités industriels le long de la rivière Mpassa

seraient aussi un facteur de contamination des sédiments qui tapissent cette rivière. En effet, les eaux de la Mpassa sont connues pour leur pH fluctuant de 4,8 à 8,98, avec des eaux acides observées dans des zones polluées par les activités industrielles des brasseries avoisinantes (Zongo *et al.*, 2013). Le pH acide dans certaines zones pourrait causer le relargage des éléments traces métalliques (Salverredy Aranguren, 2008) ainsi que la formation de complexes avec la matière organique ou inorganique, facilement mobilisable (Citeau, 2004 ; Benguedda Rahal, 2012). Or, certains éléments traces sont très dangereux de par leur capacité à s'accumuler dans les organismes biologiques (Aydin-Onen *et al.*, 2014) et à dégrader la qualité des écosystèmes menaçant ainsi la santé humaine (Poté *et al.*, 2008). Il s'avère donc nécessaire de connaître l'état de contamination des sédiments d'une rivière afin d'adapter des mesures de gestion durable d'un écosystème aquatique (Djeddi *et al.*, 2018). Cette étude a pour objectif de caractériser la composition minéralogique et géochimique des sédiments issus des berges de la rivière Mpassa à Franceville au Gabon. Le but est de déterminer l'origine des sédiments de la rivière Mpassa et d'évaluer leur état de contamination en éléments traces métalliques et le risque écologique pour les organismes aquatiques. Pour la première fois, les sédiments de la rivière Mpassa sont étudiés pour leur état de contamination en Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn et l'évaluation des indices de pollution permettant de déterminer la santé réelle de cet écosystème aquatique ainsi que le risque écologique potentiel pour la vie aquatique dans la ville de Franceville.

## MATERIEL ET METHODES

**Localisation et Contexte géologique du site d'étude:** La rivière Mpassa traverse la ville de Franceville, capitale provinciale du Haut-Ogooué, dans le bassin du Francevillien d'âge paléoprotérozoïque au Sud-Est du Gabon. Le bassin Francevillien est composé de quatre sous-bassins : Booué, Lastourville, Okondja et Franceville (Bouton *et al.*, 2009) (figure. 1-A). C'est dans le sous bassin de Franceville qu'on localise la zone d'étude. Dans cette région, plusieurs travaux ont localisé les cinq formations lithostratigraphiques labélisées FA, FB, FC, FD et FE qui composent le groupe Francevillien ((Weber, 1968 ; Gauthier-Lafaye et Weber, 2003 ; Bankole *et al.*, 2016). [Allant du bas vers le haut, la formation FA est marquée par des grès et conglomérats contenant de l'Uranium et du bitume, la formation FB riche en pélites et ampélites contient du manganèse, la formation FC est formée essentiellement de jaspe avec des intercalations argileuses (Préat *et al.*, 2011), la formation FD renferme des pélites et des ampélites, et la formation FE contient du grès et conglomérats (Thiéblemont *et al.*, 2014). Dans la ville de Franceville affluent essentiellement les formations FA, FB et FC sur lesquelles se forment les sols à dominance ferrallitique en réponse du climat de type tropical humide avec une pluviométrie de l'ordre de 1800 à 2000 mm d'eau/an et la température qui oscille entre 25° et 28°C. La rivière Mpassa traverse Franceville allant de l'amont vers l'aval à proximité des formations FB, FC et FA qui affluent avant la confluence avec le fleuve Ogooué (figure 1-B) et prend sa source proche du village Bigniomi où la compagnie Nouvelle Gabon Mining (NGM) exploite le manganèse à environ 10 km à l'Est Franceville. Ainsi, les sédiments qui tapissent le lit et les berges de la rivière Mpassa pourraient avoir des sources diversifiées résultant soit des processus d'altération et érosion des sols et roches qui affluent, soit de rejets anthropiques dus aux activités minières plus en amont.

**Echantillonnage des sédiments sur le site d'étude:** L'échantillonnage des sédiments a été effectué sur les berges (0-20 cm) le long de la rivière Mpassa suivant un transect sédimentaire de Franceville vers son point de confluence avec l'Ogooué en aval (figure 1-B). Cinq (5) stations ont été choisies pour leur accessibilité et suivant l'occupation de surface et les activités humaines. Les caractéristiques de ces stations sont résumées dans le tableau 1. Pour chaque station, 3 échantillons ont été prélevés à l'aide d'un carottier cylindrique à 0 - 10 cm. Une partie des échantillons a été séchés à l'air libre pendant 48h et à l'étuve à 60°C pendant 24h. Les échantillons secs ont ensuite

été tamisés avec un tamis de maille 63 µm puis stockés pour les analyses minéralogiques et géochimiques.

**Analyse de la composition minéralogique:** La composition minéralogique des sédiments a été déterminée par diffractométrie à rayon X (DRX). Les échantillons ont été observés au diffractomètre Bruker D8 Advance en utilisant un rayonnement réduit Cu-Kα et un détecteur rapide Lynx Eye avec un angle d'ouverture de 2 - 70° 2 theta au Département de Géologie de l'Université de Tartu en Estonie. Les données quantitatives de la composition minéralogique des échantillons ont été interprétées et modélisées à l'aide d'un programme basé sur l'algorithme de Rietveld avec une précision d'environ ± 3% en poids, comme décrit par Hillier (2003).

**Analyse de la teneur en éléments traces métalliques:** Les teneurs en éléments traces métalliques (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) de chaque échantillon broyé ont été déterminées par spectrométrie d'émission atomique à plasma inductif (ICP-AES) et spectrométrie de masse à plasma inductif (ICP-MS) selon une méthode adaptée de Briggs (2002). L'échantillon a été décomposé par digestion quasi-totale par trois acides (nitrique, fluorhydrique et perchlorique) à une température comprise entre 125 et 150 °C. Les résultats sont présentés en mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche.

**Estimation de l'état de contamination des sédiments en éléments traces métallique :** Pour estimer l'état de contamination des sédiments, nous avons utilisé le facteur de contamination (FC), le degré de contamination (DC) des sédiments en métaux lourds. Le facteur de contamination (FC) décrit la contamination des sédiments en éléments toxiques et représente le ratio entre la concentration moyenne du métal et sa valeur de référence du fond géochimique dans les sédiments (Hakanson, 1980). Il est calculé selon l'équation suivante :

$$FC = \frac{Ci \text{ (concentration de l'élément trace dans l'échantillon)}}{Cr \text{ (Concentration de référence)}}$$

Etant donné que les roches prédominantes qui affluent le long de la rivière Mpassa sont les ampélites, les jaspes et les grès, et comme il n'existe pas à ce jour des valeurs pour les concentrations de référence en métaux lourds dans les sédiments aquatiques de la zone d'étude, les valeurs moyennes de référence dans les roches sédimentaires déterminées par Rudnick et Gao (2003) ont été utilisées comme valeurs de fond géochimique. Les valeurs de FC ont été interprétées selon Hakanson (1980) où :  $CF < 1$  indique une faible contamination;  $1 < CF < 3$  est une contamination modérée;  $3 < CF < 6$  est une contamination importante, et  $CF > 6$  est une très forte contamination. Le degré de contamination (DC) est défini comme la somme de tous les facteurs de contamination des différents éléments considérés dans les sédiments (Hakanson, 1980). Il a été calculé selon la formule :

$$DC = \sum_i^n FC$$

Où n est le nombre d'éléments analysés, FC le facteur de concentration. La classification des valeurs de CD selon Hakanson (1980) est la suivante :  $CD < 8$  : faible degré de contamination ;  $8 < CD < 16$  : degré de contamination modéré ;  $16 \leq CD < 32$  : degré de contamination considérable ; et  $CD > 32$  : degré de contamination très élevé indiquant une pollution anthropique grave.

**Estimation du risque écologique potentiel des sédiments contaminés :** Le degré de contamination dangereuse des sédiments est indiqué par le risque écologique potentiel (Er) et le facteur de risque écologique (Ri) selon Hakanson (1980) et Yi *et al.* (2011):

$$Ri = \sum_{i=1}^i E r^i \text{ avec } E_r^i = Tr \times FC$$

Où Er est le risque écologique potentiel pour chaque métal ; Tr est le facteur de la réaction toxique ; et FC le facteur de contamination. Les facteurs de la réaction toxique (Tr) des éléments traces étudiés (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) selon Hilton *et al.* (1985) sont respectivement de 30 ; 2 ; 5 ; 6 ; 5 ; 1. L'interprétation des valeurs de risques écologiques est faite selon Hakanson (1980), comme consigné dans le tableau 2.suivant :

Tableau 1. Localisation des sites et description des stations de prélèvement des sédiments

| Stations                               | Echantillons | Raison du choix                                                                                                                              | Coordonnées GPS                                        |
|----------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Quartier Mangougou (Mg)                | Mg_1         | Située le plus en amont avant de traverser la ville de Franceville, cette station présente une faible activité humaine                       | S 01°38'16.4''<br>E 013°36'27.4''<br>Altitude : 289 m  |
|                                        | Mg_2         |                                                                                                                                              |                                                        |
|                                        | Mg_3         |                                                                                                                                              |                                                        |
| Quartier Saint Hilaire (Sh)            | Sh_1         | Station située à proximité d'une brasserie et fréquentée pour la baignade, la lessive et la vaisselle                                        | S 01°37'44.9''<br>E 013°36'33.3''<br>Altitude : 288 m  |
|                                        | Sh_2         |                                                                                                                                              |                                                        |
|                                        | Sh_3         |                                                                                                                                              |                                                        |
| Quartier Kiki (Ki)                     | Ki_1         | Située en plein centre-ville, cette station est soumise à de forts rejets anthropiques (déchets solides, eaux de ménages ...)                | S 01°37'16.6''<br>E 013°36'25.4''<br>Altitude : 287 m  |
|                                        | Ki_2         |                                                                                                                                              |                                                        |
|                                        | Ki_3         |                                                                                                                                              |                                                        |
| Zone du CIRMF (Zc)                     | Zc_1         | Station située en aval après la traversée de la ville et à proximité d'un centre international de recherche médical                          | S 01°37'06.6''<br>E 013°35'33.4''<br>Altitude : 286 m  |
|                                        | Zc_2         |                                                                                                                                              |                                                        |
|                                        | Zc_3         |                                                                                                                                              |                                                        |
| Point de confluence avec l'Ogooué (Pc) | Pc_1         | Station la plus éloignée de la ville, plus en aval, située à 100 m de la confluence de la rivière Mpassa avec l'Ogooué, sous une forêt dense | S 01°36'15.03''<br>E 013°31'54.7''<br>Altitude : 285 m |
|                                        | Pc_2         |                                                                                                                                              |                                                        |
|                                        | Pc_3         |                                                                                                                                              |                                                        |

Tableau 2. Caractérisation du risque écologique potentiel (Er) et le facteur de risque écologique (Ri) selon Hakanson (1980).

| Valeur d'Er    | Risque écologique potentiel | Valeur de Ri   | Indice de risque écologique |
|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|
| Er < 40        | Faible                      | Ri < 95        | Faible                      |
| 40 ≤ Er < 80   | Modéré                      | 95 ≤ Ri < 190  | Modéré                      |
| 80 ≤ Er < 160  | Considérable                | 190 ≤ Ri < 380 | Considérable                |
| 160 ≤ Er < 320 | Elevé                       | 380 ≤ Ri       | Très élevé                  |
| 320 ≤ Er       | Très élevé                  | -              | -                           |

Tableau 3. Concentrations en éléments traces métalliques dans les sédiments de la Mpassa

| Stations | Teneur en ETM, en mg. kg <sup>-1</sup> de sédiments secs |               |               |               |              |             |
|----------|----------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|
|          | Cr                                                       | Zn            | Ni            | Pb            | Cu           | Cd          |
| Mg       | 56,99 ± 5,67                                             | 31,85 ± 5,74  | 20,62 ± 3,44  | 20,78 ± 5,76  | 14,92 ± 2,01 | 0,07 ± 0,03 |
| Sh       | 80,85 ± 26,73                                            | 59,01 ± 29,45 | 39,96 ± 20,31 | 57,37 ± 17,56 | 18,69 ± 5,36 | 0,17 ± 0,06 |
| Ki       | 86,71 ± 8,17                                             | 68,45 ± 6,44  | 46,55 ± 4,38  | 71,19 ± 6,71  | 19,62 ± 1,85 | 0,18 ± 0,02 |
| Zc       | 89,91 ± 1,68                                             | 44,96 ± 1,34  | 25,47 ± 2,19  | 37,46 ± 1,28  | 24,97 ± 1,19 | 0,10 ± 0,01 |
| Pc       | 83,24 ± 11,49                                            | 43,29 ± 2,87  | 27,31 ± 3,20  | 33,46 ± 6,90  | 22,81 ± 3,74 | 0,13 ± 0,06 |
| UCC*     | 92                                                       | 67            | 47            | 17            | 28           | 0,09        |

\* UCC : fond géochimique dans les roches sédimentaires selon Rudnick et Gao (2003)

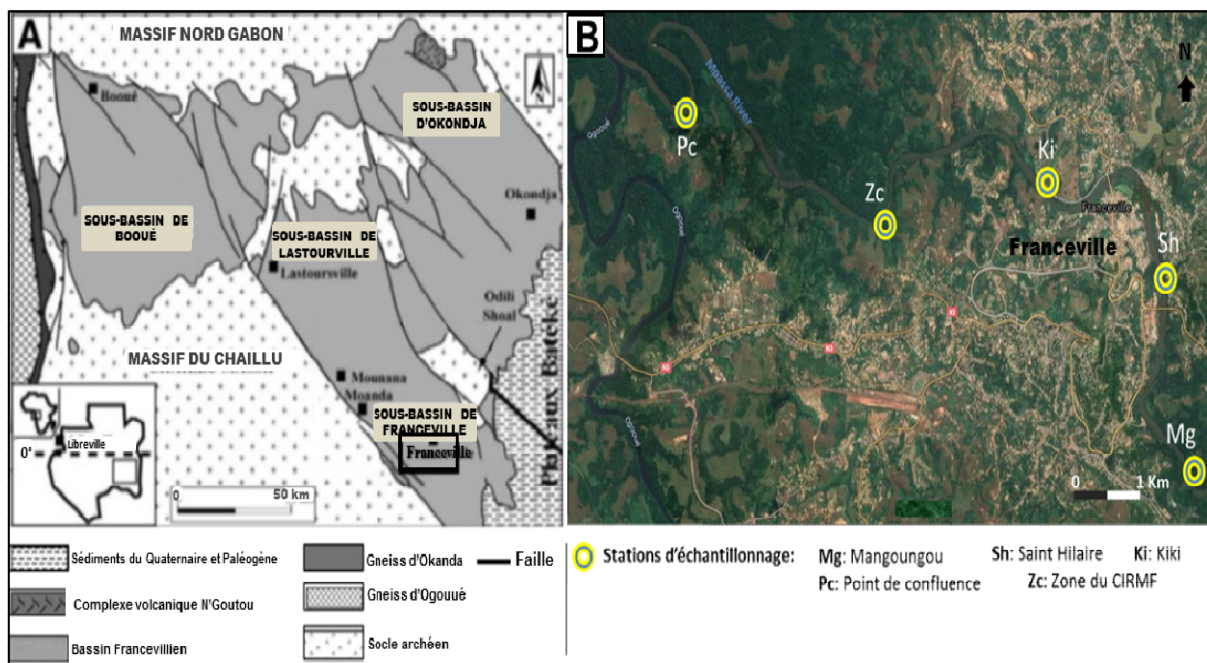


Figure 1. Carte géologique du bassin Francevillien protérozoïque avec ces différents sous-bassins (A), et Localisation des stations d'échantillonnage (B)

## RESULTATS

**Composition minéralogique des sédiments :** Les pourcentages des différents minéraux retrouvés dans les sédiments prélevés dans les berges de la rivière Mpassa sont donnés dans la figure 2. Les principaux minéraux présents sont : quartz, Illitek-mika, kaolinite,

K-feldspaths et plagioclases. Dans tous les échantillons, le quartz est le minéral le plus dominant (81,7 à 95,7 wt %), suivi de la kaolinite (3,7 à 8,7 wt %), et de l'illite/K-mica (8 à 8,5 wt %). Les faibles quantités de K-feldspaths (0,7 à 0,8 wt %) et plagioclases (0,2 à 0,5 wt %) ont été retrouvés uniquement dans trois stations les plus en

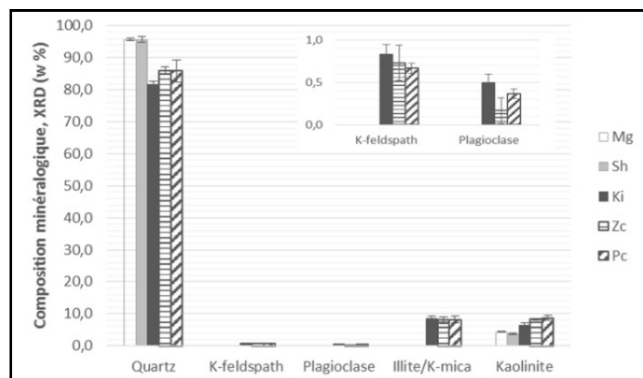
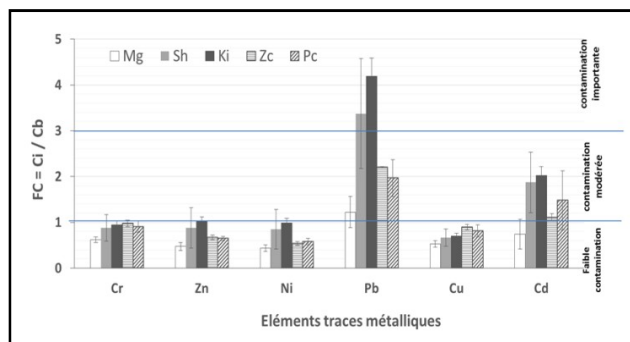
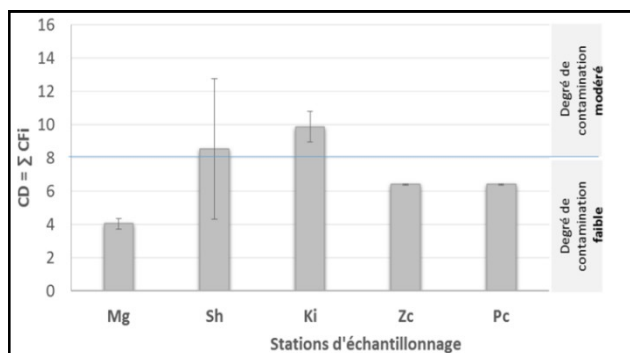
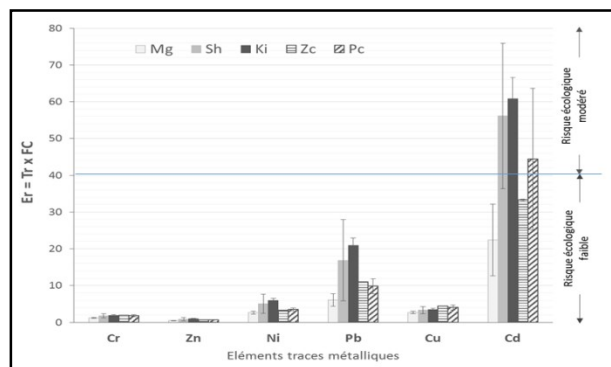
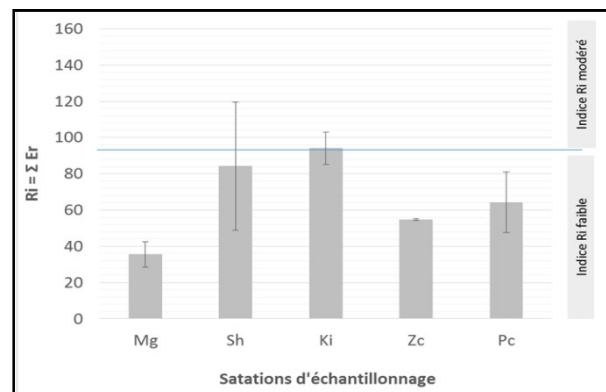


Figure 2. Composition minéralogique des sédiments de la Mpassa

Figure 3. Facteurs de contamination (FC) en éléments traces métalliques dans les sédiments de la rivière Mpassa ( $FC < 1$  : faible contamination;  $1 < FC < 3$  : contamination modérée;  $3 < FC < 6$  : contamination importante)Figure 4. Degré de contamination (DC) en éléments traces métalliques dans les sédiments de la rivière Mpassa ( $DC < 8$  : degré de contamination faible;  $8 < DC < 16$  : degré de contamination modérée)Figure 5. Facteur de risque potentiel (Er) des éléments traces métalliques dans les sédiments ( $Er < 40$  : risque écologique potentiel faible;  $40 < Er < 80$  : risque écologique potentiel modéré).Figure 6. Indice de risque écologique (Ri) des éléments traces métalliques dans les sédiments ( $Ri < 95$  : Indice de risque écologique faible;  $95 < Ri < 190$  : Indice de risque écologique modéré).

amont, à savoir Ki (centre-ville), Zc (avant m'embouchure) et Pc (au point de l'embouchure). Les minéraux primaires : quartz, K-feldspath et plagioclases, constituent principalement le cortège minéralogique de chaque station, et représentent entre 83 et 95,7 wt %, avec les plus grandes quantités dans les deux premières stations situées en amont (Mg et Sh). En revanche, la quantité des minéraux secondaires, composés de minéraux argileux illite / K-mica et kaolinite, varient de 3,7 à 16,9 wt %, avec une prédominance dans les trois stations les plus en amonts (Ki, Zc et Pc), entre 15 à 16,9 wt %.

**Teneurs en éléments traces métalliques :** Les concentrations en éléments traces métalliques retrouvées dans les cinq stations le long de la rivière Mpassa sont données dans le tableau 3. Dans les sédiments, les concentrations en chrome (Cr) varient de  $56,99 \pm 5,67$  à  $89,91 \pm 1,68$  mg.kg<sup>-1</sup>, Zn de  $31,85 \pm 5,74$  à  $68,45 \pm 6,44$  mg.kg<sup>-1</sup>, Ni de  $20,62 \pm 3,44$  à  $46,55 \pm 4,38$  mg.kg<sup>-1</sup>, Pb de  $20,78 \pm 5,76$  à  $71,19 \pm 6,71$  mg.kg<sup>-1</sup>, Cu de  $14,92 \pm 2,01$  à  $24,97 \pm 1,19$  mg.kg<sup>-1</sup>, et Cd de  $0,07 \pm 0,03$  à  $0,18 \pm 0,02$  mg.kg<sup>-1</sup> de sédiments secs. Les plus fortes concentrations en Cr, Zn, Ni, Pb et Cd sont obtenues dans la station Kiki (Ki) qui est située au centre-ville, et les plus faibles concentrations de tous les éléments traces métalliques étudiés sont obtenues dans la station Mangoungou (Mg) située le plus en amont. D'après les résultats, les concentrations moyennes en Zn (station Ki), en Pb (toutes les stations), et en Cd (stations Sh, Ki, Zc et Pc) sont plus importantes comparées au fond géochimique de la croûte continentale UCC, et plus élevées que les concentrations de référence dans les roches sédimentaires, avec Zn = 67 mg.kg<sup>-1</sup>, Pb = 17 mg.kg<sup>-1</sup> et Cd = 0,09 mg.kg<sup>-1</sup> (Rudnick et Gao, 2003). Ces résultats indiquent une contamination probable des sédiments de toutes les stations en Pb, des stations Sh, Ki, Zc et Pc en Cd, et de la station Ki en Zn.

**Degré de contamination en éléments traces métalliques des sédiments :** Les valeurs des facteurs de contamination (FC) et des degrés de contamination (DC) sont présentées dans les figures 3 et 4, respectivement. Les valeurs moyennes de FC, dans les sédiments, pour les éléments traces métalliques Cr, Zn, Ni et Cu sont inférieures à 1 dans toutes les stations, indiquant que ces sédiments sont non contaminés ou faiblement contaminés en ces quatre éléments. Cependant, pour tous les sédiments, les valeurs moyennes FC de Pb sont  $> 1$ , elles varient de 1,2 à 4,2, avec la plus forte valeur dans la station Kiki (Ki) au centre-ville. De plus, les valeurs FC de Cd qui varient de 0,8 à 2,0 sont également  $> 1$  dans les stations Saint hilaire (Sh), Kiki (Ki), Zone du CIMRF (Zc) et Point de confluence (Pc), avec la plus forte valeur obtenue dans la station Ki (figure 3).

Les résultats de la figure 3 indiquent une contamination des sédiments en Pb et en Cd. D'après Hakanson (1980), les sédiments des stations Mangoungou (Mg), Zc et Pc présentent une contamination modérée en Pb, tandis que ceux des stations Sh et Ki présentent une contamination importante en Pb. Par ailleurs, excepté la station témoin Mg, les sédiments des autres stations (Sh, Ki, Zc et Pc) présentent une contamination modérée en Cd (figure 3). D'après

les valeurs des degrés de contamination (DC) (figure 4), les sédiments des stations Sh et Ki sont ceux qui présentent un degré de contamination modéré, avec  $8 < DC < 16$ . Pour les autres stations Mg, Zc et Pc, les sédiments présentent un degré de contamination faible en ETM ( $DC < 8$ ) (figure 4).

**Risque écologique potentiel des sédiments contaminés :** Les valeurs du facteur de risque potentiel (Er) des sédiments sont résumées dans la figure 5. Les résultats montrent que les valeurs Er sont largement inférieures à 40 ( $Er < 40$ ) pour les éléments Cr (de 1,2 à 2,0), Zn (de 0,5 à 1,0), Ni (de 2,6 à 5,9), Pb (de 6,1 à 20,9) et Cu (de 2,7 à 4,5), ce qui indique que le risque écologique potentiel pour ces éléments est faible selon Hakanson (1980). En revanche, pour l'élément Cd, les valeurs moyennes Er dans les sédiments des stations Saint-Hilaire (Sh : de 56,2), Kiki (Ki = 60,8), et Point-confluence (Pc = 44,4) impliquent potentiellement des risques écologiques modérés en Cd ( $40 \leq Er < 80$ ) pour les sédiments de ces trois stations. Les valeurs Ri (figure 6) indiquent qu'il n'existe pas de risque écologique dans les stations Mg, Zc et Pc, avec les valeurs  $Ri < 95$ . Cependant, pour les stations Sh et Ki, quelques sédiments présentent un risque écologique modéré ( $95 \leq Ri < 190$ ) (Hakanson, 1980), avec les valeurs de Ri variant de 43 à 105 dans la station Sh, et de 85 à 103 dans la station Ki (figure 6).

## DISCUSSION

Les résultats révèlent une forte prédominance de quartz dans tous les échantillons de sédiments étudiés et des faibles proportions d'illite/mica et kaolinite. Ces sédiments semblent présenter des cortèges minéralogiques similaires à ceux généralement observés dans les horizons de surface des sols ferallitiques de Franceville. En effet, plusieurs auteurs ont montré une prédominance de quartz et de faibles proportions de illite/mica et kaolinite dans la partie superficielle des sols développés sur les grès, les argilites noirs et les jaspes des formations FA, FB et FC du bassin Francevillien (Ondo Zue Abaga *et al.*, 2023 ; Guichard et Lavaud, 1980). Les résultats de notre étude indiquent que l'érosion des sols de Franceville constituerait la principale source des sédiments de la rivière Mpassa. Les faibles proportions de feldspaths ( $< 1\%$ ) couplées avec des quantités relativement importantes en illite et kaolinite (de 5 à 10%) indiquent un degré d'altération chimique assez élevé dans la région de Franceville. Par ailleurs, Franceville est soumise à un climat de type tropical humide, caractérisé par une pluviométrie à forte intensité en saisons des pluies et une température assez importante qui favorisent l'hydrolyse des roches sédimentaires du bassin Francevillien et produisent des minéraux secondaires de type illite et kaolinite. Ces minéraux argileux reportés représentent un mélange contrôlé par deux sources potentielles qui sont la composition des roches et l'altération chimique et transport par ruissellement des sédiments de surface (Rao, 1991). Pour ces mêmes causes, le transport des particules pourrait également influencer les concentrations en éléments traces métalliques dans les sédiments de la rivière Mpassa. Les résultats montrent un enrichissement en plomb (Pb) des sédiments de toutes les stations, en Cd dans quatre stations (Sh, Ki, Zc et Pc), et en Zn dans une station (Ki), avec des concentrations souvent plus élevées que celles correspondant au fond géochimique de la croûte continentale UCC, et plus importantes que les concentrations de référence dans les roches sédimentaires selon Rudnick et Gao (2003). Ces résultats indiquent une contamination des sédiments en Pb, Cd et Zn généralement plus importante dans les sédiments du site Kiki (Ki) qui est le plus exposé aux activités humaines de type baignade, lavage de véhicule et rejets de déchets solides et d'effluents liquides. Cette observation est en accord avec celle faite par Zongo *et al.* (2013) qui avaient démontré une pollution des eaux de la rivière Mpassa avec un pH très acide à proximité des points à forte influence humaine et soumis à des rejets d'effluents de brasserie. Au regard de cette contamination multiple en Pb, Cd et Zn des sédiments, en plus des processus de ruissellement des particules fines, les fuites de carburant des pirogues, les déchets solides tels que appareils électriques, les effluents industriels, constitueraient des sources secondaires de

contamination des sédiments de la rivière Mpassa. En se basant sur les facteurs de contamination (FC), seuls les éléments Pb et Cd présentent nettement un  $FC > 1$  dans au moins 4 sites sur les 5 étudiés (figure 3). D'après Hakanson (1980), il y a un degré de contamination (DC) modéré ( $8 < DC < 16$ ) pour les sédiments des sites de Saint Hilaire (Sh) et de Kiki (Ki) (figure 4). Généralement, les éléments présentent un risque écologique faible suivant l'ordre suivant  $Pb > Ni > Cu > Cr > Zn$  (figure 5). Cependant, seul Cd présente un risque écologique modéré ( $40 \leq Er < 80$ ) dans les sédiments pour les sites Sh, Ki et Pc. Toutefois, l'indice de risque écologique (Ri) reste modéré pour Cd uniquement dans les sédiments des sites Ki et Sh (figure 6). Suivant cet indice Ri, la contamination moyenne des sédiments en Cd suit l'ordre suivant :  $Ki > Sh > Pc > Zc > Mg$ . L'élément Cd qui présente un risque écologique important est un élément trace bioaccumulable et à forte toxicité chez les organismes vivants même à faible concentration (Blum *et al.*, 2001 ; Levet, 2008). Malgré qu'il soit absorbé dans les sédiments, la modification de la salinité ou du pH pourraient causer son relargage, favorisant ainsi la contamination d'eau (Ghanem, 2008 ; Salvarredy Aranguren, 2008). Cette contamination pourrait affecter toute la chaîne trophique jusqu'aux poissons pêchés par des riverains, ce qui constituerait un risque majeur pour la santé humaine. Pour l'instant, la source de Cd reste à identifier. Ces sédiments ainsi que la colonne d'eau de la Mpassa doivent faire l'objet de suivi régulier afin de prévenir tous risques écologiques considérables voir très élevé pour les biocénoses autochtones évoluant surtout dans les écosystèmes proches du quartier Kiki situé au centre-ville de Franceville.

## CONCLUSION

Cette étude révèle que le quartz est le minéral le plus abondant (généralement  $> 80\%$ ) dans les sédiments de la rivière Mpassa, il est suivi par des faibles quantités de minéraux argileux tels que l'illite/k-mica et la kaolinite. Ce cortège minéralogique, similaire à celui des sols environnants, proviendrait principalement de l'érosion des horizons superficiels des sols ferallitiques environnants. De plus, la combinaison entre le quartz, les minéraux argileux et les très faibles quantités de feldspaths indique une hydrolyse des minéraux primaires par réaction de type bisiallisation et monosiallisation. Parmi les éléments traces étudiés, il y a une contamination possible des sédiments en Pb, Cd et Zn qui présentent parfois des teneurs supérieures à celles du fond géochimique de la croûte continentale UCC et plus élevées que les concentrations de référence dans les roches sédimentaires. Les facteurs de concentration (FC) et le degré de contamination (DC) confirment une contamination modérée en Pb et Cd dans les stations Saint Hilaire (Sh), Kiki (Ki), Zone du CIRMF (Zc) et Point de confluence (Pc). Cependant, malgré cette contamination, seul Cd présente un risque écologique potentiel Cd ( $40 \leq Er < 80$ ) dans les sédiments des stations Saint-Hilaire (Sh : de 56,2), Kiki (Ki = 60,8), et Point-confluence (Pc = 44,4). Le facteur risque écologique (Ri) reste cependant faible ( $Ri < 95$ ) pour la station Zn et modéré ( $95 \leq Ri < 190$ ) pour les stations Sh et Ki qui sont les plus soumises aux activités humaines. Le fait que ces éléments traces métalliques soient persistants et bioaccumulables nécessite un suivi régulier pour prévenir et maintenir la bonne santé de cet écosystème.

**Conflits d'intérêt:** Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier chaleureusement Monsieur Kalle Kirsimae, du Département de Géologie à l'Université de Tartu, Estonie, pour son aide lors des analyses minéralogiques et géochimiques des sédiments étudiés.

## REFERENCES

- Aydin-Onen S., Kucuksezgin F., Kocak F., Açik S. (2014). Assessment of heavy metal contamination in Hediste diversicolor

- (O.F. Müller, 1776), Mugil cephalus (Linnaeus, 1758), and surface sediments of Bafa Lake (Eastern Aegean). *Environmental Science and Pollution Research*, 22(11): 8702-8718. DOI:10.1007/s11356-014-4047-5
- Bankole O. M., EL Albani A., Meunier A., Rouxel O. J., Gauthier-Lafaye F., Bekker A. (2016). Origin of red beds in the paleoproterozoic Franceville basin, Gabon, and implications for sandstone-hosted uranium mineralization. *American Journal of Science*, 316(9): 839-872. DOI: <https://doi.org/10.2475/09.2016.02>
- Benguedda-rahah W. (2012). Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et différents maillons de la chaîne trophique du littoral extrême ouest algérien. Thèse de doctorat, Université Tlemcen, Algérie, 149 p.
- Bernadez P., Prego R., Giral S., Esteve J., Caetano M., Parra S., Frances G. (2012). Geochemical and mineralogical characterization of surficial sediments from the Northern Rias: Implications for sediment provenance and impact of the source rocks. *Marine Geology*, 291-294 : 63-72. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2011.11.003>
- Blum A., Barbier J., Chery L., Petelet-Girard E. (2001). Contribution à la caractérisation des états de référence géochimique des eaux souterraines. Outils et méthodologie. Rapport BRGM/RP-51093-Fr, Orléans, pp.57-68.
- Bouton P., Thiéblemont D., Gouin J., Cocherie A., Guerrot C., Tegye M., Préat A., Simo Ndounze S. Kassadou A. B., Boumingui B., Ekhogha H., Moussavou M. (2009). Notice Explicative de la Carte géologique de la République du Gabon à 1/200 000, feuille Franceville – Boumango (DGMG edn). Ministère des Mines, du Pétrole, des Hydrocarbures, Libreville.
- Briggs P. H. (2002). The determination of forty elements in geological and botanical samples by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. In Analytical methods for chemical analysis of geologic and other materials, Taggart JE(ed). U.S. Geological Survey Open File Report, 02 - 223: 1-18.
- Citeau L. (2004). Etude des colloïdes naturels présents dans les eaux gravitaires de sols contaminés : relation entre nature des colloïdes et réactivité vis-à-vis des métaux (Zn, Cd, Pb, Cu). Thèse de doctorat, Institut National Agronomique, Paris-Grignon (INA-PG), France, 273 p.
- Djeddi H., Nacereddine S. K., Keddari D., Afri-Mehennaoui F. Z. (2018). Teneurs des éléments traces métalliques Cu, Zn Et Pb des sédiments du barrage Béni Haroun (Nord-Est de l'Algérie). *European Scientific Journal*, 14(15): 269. DOI : <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n15p26>
- Gauthier-Lafaye F., Weber F. (2003). Natural nuclear fission reactors: time constraints for occurrence, and their relation to uranium and manganese deposits and to the evolution of the atmosphere. *Precambrian Research*, 120(1-2): 81-100. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(02\)00163-8](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(02)00163-8)
- Ghanem C. A. (2008). "Spéciation" des trois éléments trace mercure, plomb et cadmium dans les sédiments marins des zones côtières libanaises. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique, Paris-Grignon (INA-PG), 310 p.
- Guichard E., Lavaud R. (1980). Etude pédologique de sites pour des plantations d'espèces ligneuses à croissance rapide dans les savanes du Haut-Ogooué. IRAF, Centre Gros-Bouquet, Libreville, 121 p.
- Hakanson L. (1980). An ecological risk index aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14: 975-1001. DOI: [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8)
- Hillier S. (2003). Quantitative analysis of clay and other minerals in sandstones by X-ray powder diffraction (XRPD). *International Association of Sedimentologists, Special Publications*, 34: 213-251. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781444304336.ch11>
- Hilton J., Davison W., Ochsnein U. (1985). A mathematical model for analysis of sediment data. 453. *Chemical Geology*, 48: 281-291. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7885-2>
- Levet D. (2008). Guide pratique des substances toxiques dans les eaux douces et littorales du bassin Seine-Normandie. Paris, Editions AESN, pp. 30-35.
- Martinez L. L. G., Poletto C. (2014). Assessment of diffuse pollution associated with metals in urban sediments using the geoaccumulation index (I<sub>geo</sub>). *Journal of Soils and Sediments*, 14(7) : 1251-1257. DOI:10.1007/s11368-014-0871-y
- Omotoye S.J., Suyi Fadiya, Adesiyun T.A. (2016). Sedimentological Study and Heavy Mineral Analysis of Sediment Samples from Well-S, Niger Delta, Nigeria. *Universal Journal of Geoscience*, 4(3) : 51-61. DOI:10.13189/ujg.2016.040301
- Ondo Zue Abaga N., Nfoumou Obame V., Makaya M'Voubou, (2023). Influence of the parent rock nature on the mineralogical and geochemical composition of ferralsols used for sedentary agriculture in the Paleoproterozoic Franceville sub-basin (Gabon). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 17(4): 1778-1789. DOI: 10.4314/ijbcs.v17i4.38
- Poté J., Haller L., Loizeau J. L., Garcia Bravo A., Sastre V., Wildi W. (2008). Effects of a sewage treatment plant outlet pipe extension on the distribution of contaminants in the sediments of the Bay of Vidy, Lake Geneva, Switzerland. *Bioresource Technology*, 99 : 7122-7131. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.075>
- Préat A., Bouton P., Thiéblemont D., Prian J.-P., Ndounze S. S., Delpomdor F. (2011). Paleoproterozoic high  $\delta^{13}\text{C}$  dolomites from the Lastoursville and Franceville basins (SEGabon): Stratigraphic and synsedimentary subsidence implications. *Precambrian Research*, 189 : 212-228.
- Rao V. P. (1991). Clay mineral distribution in the continental shelf sediments from Krishna to Ganges river mouth, East coast of India; *Indian Journal of Marine Science*, 20: 7-12.
- Rudnick R.L., Gao S. (2003). The Composition of the Continental Crust. In: Holland HD and Turekian KK, Eds. *Treatise on Geochemistry*, 3 : 1-64. The Crust, Elsevier-Pergamon, Oxford,. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/b0-08-043751-6/03016-4>
- Salvarredy Aranguren M. M. (2008). Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes boliviennes) par des déchets miniers : approches géochimique, minéralogique et hydrochimique. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse (FRA) ; La Paz : Univ. Toulouse 3 Paul Sabatier ; IRD, 371 p.
- Thiéblemont D., Bouton P., Préat A., Goujou J. C., Tegye M., Weber F., Treuil M. (2014). Transition from alkaline to calc-alkaline volcanism during evolution of the Paleoproterozoic Francevillian basin of eastern Gabon (Western Central Africa). *Journal of African Earth Science*, 99(2): 215-227. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afrsarsci.2013.12.007>
- Weber F. (1968) Une série précambrienne du Gabon: Le Francevillien. Sédimentologie, géochimie, relations avec les gîtes minéraux associés. *Sciences Géologiques, Bulletins et Mémoires*, 28: 328.
- Wu D.L., Lin M., Chan C.Y., Li W.Z., Tao J., Li Y.P. (2013). Influences of Commuting mode, Air Conditioning Mode and Meteorological parameters on fine particle (PM<sub>2.5</sub>) Exposure levels in traffic microenvironments. *Aerosol and Air Quality Research*, 13 : 709-720.
- Yi Y., Yang Z., Zhand S. (2011). Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environmental Pollution*, 159(10): 2575-2585. DOI : 10.1016/j.envpol.2011.06.011
- Zongo S. B., Koumba Mabert B. D. C., Ndiaye A., Padzys G. S., Omouendze Mouaragadja L. P., Lepengué N. A., Schmitt F. G. (2013). Variability of pH in the Ogooué and M'passa rivers (Gabon) ; *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)*, 3(10): 70-80.

\*\*\*\*\*