

Impact des activités d'orpaillage artisanal et à petite échelle sur la qualité des eaux, des sédiments et du poisson à Fourou, Mali

**Hanni KONE^{1*}, Brahim B. TRAORE², Farmata Koro YARO¹, Abdoul Salam DIARRA³,
Bakary DAGNO⁴ et Mohamed Lamine DOUMBIA¹**

¹ *Sotuba Mali Univers, Laboratoire National des Eaux (LNE), BPE 4161, Bamako, Mali*

² *Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTTB), Institut des Sciences Appliquées (ISA), Bamako, Mali*

³ *Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Faculté de Médecine et d'Odontostomatologie, Département d'Enseignement et de Recherche en Santé Publique, Mali*

⁴ *Université Privée Modibo KANE DILLY, Bamako, Mali*

(Reçu le 12 Juin 2026 ; Accepté le 21 Août 2026)

* Correspondance, courriel : hannikone21@yahoo.fr

Résumé

L'orpaillage artisanal et à petite échelle sont devenus des armées destructives des plans d'eau et de l'environnement malgré son apport économique dans le monde entier. Cette étude a pour objectif d'évaluer l'impact des activités d'orpaillage artisanal et à petite échelle sur la qualité des eaux, des sédiments et du poisson à Fourou au Mali. Pour l'atteinte de cet objectif, nous avons réalisé une étude évaluative qui s'est déroulée du 1^{er} au 6 Avril 2026 dans ladite zone. Des échantillons de sédiments, de poisson et d'eaux ont été prélevés. Le pH, la conductivité électrique, la température, l'oxygène dissout, la couleur, la turbidité et les éléments traces métalliques (ETM) ont été déterminés. Les méthodes utilisées sont la spectroscopie de fluorescence (XRF) et la spectrophotométrie d'absorption atomique (240FS AA) pour déterminer les ETM dans les sédiments, dans le poisson et dans les eaux. Les valeurs moyennes en mercure et en chrome dans les sédiments étaient respectivement à 17,13 ppm et 145,05 ppm. Dans le poisson, les concentrations en mercure, en cadmium et en plomb étaient respectivement 47 ppm, 15,17 ppm et 1 ppm. Des valeurs élevées en argent et en plomb ont été trouvées dans les eaux de forage respectivement avec 0,113 mg/L et 0,030 mg/L. Ces valeurs sont supérieures à la norme admise. L'étude révèle que ce cours d'eau subisse une forte pression due aux activités d'orpaillage contaminant les eaux, les sédiments et les poissons. Ces résultats doivent interpeller les autorités à la prise des mesures fortes afin de sauver ce cours d'eau.

Mots-clés : *impact, orpaillage, qualité des eaux, sédiments, poissons, Fourou.*

Abstract

Impact of artisanal and small-scale gold mining on water, sediment, and fish quality in Fourou, Mali

Artisanal and small-scale gold mining has become a destructive force for water bodies and the environment, despite its economic contribution worldwide. The objective of this study is to assess the impact of artisanal and small-scale gold mining activities on water quality, sediment quality, and fish in Fourou, Mali. To achieve this objective, we conducted an assessment study that took place from April 1 to 6, 2026, in the aforementioned area. Samples of sediments, fish, and water were collected. pH, electrical conductivity, temperature, dissolved oxygen, color, turbidity, and trace metals (TM) were measured. The methods used were X-ray fluorescence (XRF) spectroscopy and atomic absorption spectrophotometry (240FS AA) to determine trace metals in sediments, fish, and water. The average concentrations of mercury and chromium in the sediments were 17.13 ppm and 145.05 ppm, respectively. In the fish, the concentrations of mercury, cadmium, and lead were 47 ppm, 15.17 ppm, and 1 ppm, respectively. High levels of silver and lead were found in the well water at 0.113 mg/L and 0.030 mg/L, respectively. These levels exceed the accepted standard. The study reveals that this watercourse is under significant pressure due to artisanal gold mining activities that are contaminating the water, sediments, and fish. These results should prompt the authorities to take strong measures to save this river.

Keywords : *impact, gold panning, water quality, sediments, fish, Fourou.*

1. Introduction

L'exploitation artisanale de l'or est une activité lucrative dans laquelle de nombreux acteurs intervenant à des niveaux divers et avec des rôles précis, trouvent leur compte au plan financier en dépit des conséquences que cette activité pourrait engendrer sur notre environnement immédiat [1]. Elle est en plein essor dans la plupart des pays du monde : près de 40,5 millions de personnes y travaillent directement et 150 millions en dépendent pour leur subsistance [2]. Il a été conclu que malgré les opportunités d'emploi, la recherche d'or contribue de manière importante au développement local et national des pays [3]. Malgré elle soit une activité génératrice de revenu pour les communautés, elle comporte de nombreuses conséquences entre autres la dégradation du couvert végétal, la pollution des eaux de surface et souterraines résultant des activités minières présentent de nombreux impacts négatifs, tant au niveau social, environnemental que biologique [4]. En Afrique de l'Ouest, cette activité est devenue indissociable du développement économique des pays [5]. Les sources, considérées comme des zones stratégiques pour la préservation des ressources en eau et essentielles à l'évaluation de la qualité de l'eau et du débit des cours d'eau, sont soumises depuis quelques années à une pression anthropique croissante [6]. L'exploitation minière à petite échelle, englobant les étapes d'exploration, d'extraction, de traitement et de fermeture, dégrade considérablement l'environnement et présente des risques pour la santé humaine [7]. Cette pression, exercée par les activités humaines, a des répercussions négatives notables sur la qualité des ressources en eau et des sols [6]. La pollution au mercure (Hg) reste une préoccupation environnementale mondiale en raison de sa nature non dégradable et toxique. Les sources naturelles et anthropiques de Hg affectent négativement le fonctionnement des écosystèmes aquatiques et des processus biologiques [8]. L'intensification de la pollution des milieux aquatiques par les métaux traces peut avoir des effets néfastes sur l'homme et son environnement [9]. La pollution liée à un rejet des eaux usées dans ces zones côtières constitue une menace pour la santé publique, les espèces sauvages ainsi que pour les sources de revenus comme la pêche et le tourisme [10]. Le rejet d'eaux usées non traitées ou partiellement traitées dans l'environnement entraîne la pollution des eaux de surface, du sol

et des eaux souterraines. Une fois rejetées dans les plans d'eau, les eaux usées sont diluées et transportées en aval ou s'infiltrant dans les aquifères où elles peuvent affecter la qualité des approvisionnements en eau douce [11]. La pollution des sols et de l'eau en particulier a toujours eu un impact sur la sécurité alimentaire, ce qui représente une menace importante pour la santé humaine [12]. En Afrique subsaharienne, l'exploitation artisanale et l'exploitation aurifère à petite échelle non réglementée contribuent jusqu'à 20% de la production mondiale d'or et consomment entre 205 et 496 tonnes/an de Hg [8]. Dans le contexte malien, caractérisé par une pénurie d'opportunités économiques formelles, l'orpaillage semble constituer une source de revenus rapides, bien que souvent instables [13]. Il occupe une place croissante dans les économies rurales, mais ses impacts environnementaux et sanitaires demeurent encore largement sous-documentés [14]. En outre, les phénomènes naturels tels que la sécheresse, la hausse des températures ou la faible pluviométrie dont les effets impactent négativement sur la disponibilité des eaux de surface et souterraines [15, 16]. En 2023, le Mali a adopté le code minier qui interdit l'exploitation de substances minérales soumises au régime des mines dans les lits des cours d'eau par dragage ainsi que par toute autre méthode. Il est de même pour l'utilisation des explosifs, des substances chimiques dangereuses notamment le cyanure, le mercure, les acides dans les activités d'exploitation artisanale. Malheureusement, la problématique de la pollution des cours d'eau demeure une situation préoccupante pour les autorités. L'orpaillage artisanal et à petite échelle ainsi que l'utilisation des produits chimiques comme le mercure, le cyanure contribuent de façon exponentielle à la dégradation de la qualité des eaux. Ces pratiques détruisent considérablement les écosystèmes aquatiques d'où l'inexistence de la vie aquatique. C'est pourquoi, nous avons réalisé cette étude pour attirer une nouvelle fois l'attention des autorités pour sauvegarder ce qui peut encore l'être avant qu'il ne soit trop tard. L'objectif de notre étude vise à évaluer l'impact des activités d'orpaillage artisanal et à petite échelle sur la qualité des eaux, des sédiments et du poisson dans la zone de Fourou au Mali.

2. Matériel et méthodes

2-1. Description de la zone d'étude

La commune rurale de Fourou a été créée par la loi n°96_059 du 04 novembre 1996. Le relief de la commune est accidenté, caractérisé par des collines que l'on rencontre sur l'axe de Diou et Fourou, des plaines et des bas-fonds autour des rivières. Il a une altitude moyenne de 350 m à 450 m et est dominé par les plaines et le plateau. Les sols que nous rencontrons dans la commune sont des sols argileux, sablonneux, gravillonnaires, limoneux, limonés argileux et des sols argilosablonneux. Sur l'année, la température moyenne à Fourou est de 27,6°C et les précipitations sont en moyenne de 841,4 mm. La pluviométrie annuelle enregistrée avoisine les 1500 mm de pluies par an. En 2020, la commune de Fourou disposait d'une superficie de terre cultivable de 4 027,5 h sur l'ensemble des spéculations. La végétation est constituée par une savane et des forêts naturelles, une galerie le long des cours d'eau. On y rencontre un important tapis graminée au niveau des plaines alluvionnaires constituant ainsi des pâturages potentiels pour le bétail. Elle est arrosée par quelques cours d'eau dont les plus importants sont le Bagoué entre la commune de Fourou et la République de la Côte d'Ivoire, le Banifing qui sert les communes de Tiongui (Cercle de Kolondiéba), Fourou (Cercle de Kadiolo) et Lobougoula (Cercle de Sikasso). Les mares les plus importantes sont Lollè à 7 km de Fourou et Diéou à 12 km au Nord Est [17]. Cette étude a été réalisée dans la commune rurale de Fourou, Cercle de Kadiolo dans la région de Sikasso. Cette commune a été choisie car l'orpaillage est pratiqué pour parvenir à leur besoin économique. Les eaux de surface sont utilisées pour le lessivage des minerais et la croissance démographique augmente chaque année à cause de la présence de l'or dans la zone. A ceux-ci, il faut ajouter l'utilisation des dragues mécanisées sur le lit majeur des cours d'eau notamment le Bagoé pour la recherche de l'or. Les villages de la commune rurale de Fourou se trouvent sur la carte ci-après (*Figure 1*):

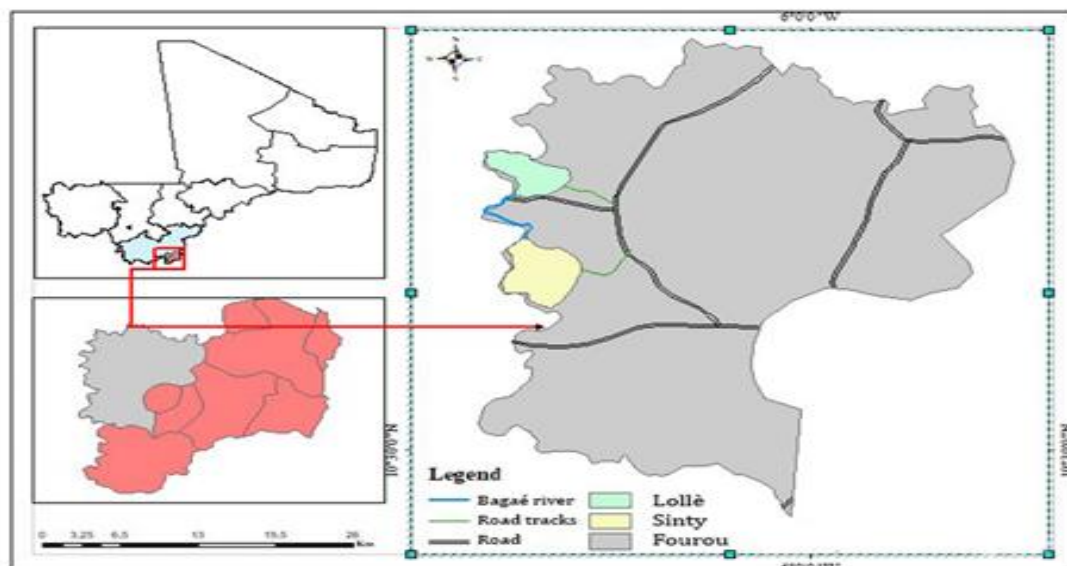


Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude [18]

2-2. Matériel

Les matériels utilisés sont le multi paramètres HQ 40 d (WTW) pour mesurer le pH, la conductivité, la température et l'oxygène dissout, le turbidimètre TL2310 (HACH). Le récepteur (GPS VISTA H, Etrex, Garmin) a été utilisé pour géo localiser les sites de prélèvement. Des flacons de prélèvement d'un (1) litre et des glacières ont été utilisés pour la prise et le stockage des échantillons d'eau. Le DR 2800 de marque HACH a été utilisé pour les mesures de la couleur. La grille d'évaluation de la qualité des eaux de surface HTE N°147-Sep/Déc. 2010 pour apprécier la qualité de la rivière Bagoé. La Norme de Qualité Environnementale (NQE) de 1^{er} palier écologique mg/kg a été utilisée pour apprécier les valeurs obtenues dans les sédiments et celle de l'Union Européenne (UE) 2023/915 du 25 avril 2025/(CE) n°1881/2006 (mg/kg) a été utilisée pour apprécier les valeurs obtenues dans le poisson.

2-3. Méthodes

Dans le cadre de la présente étude, les travaux ont été menés en deux phases principales : sur le terrain et au laboratoire. Sur le terrain, des prélèvements des échantillons de poissons, de sédiments et des eaux ont été faits. Ces prélèvements ont été réalisés du 01 au 06 avril 2026. Des échantillons d'eau, de sédiments et du poisson ont été prélevés avec un total de quatorze (14) dans la zone d'étude. Il n'y a pas eu de techniques spécifiques pour pêcher les poissons mais il a été acheté directement auprès des pêcheurs au bord de la rivière Bagoé. Le poisson prélevé a été mis dans les papiers aluminiums, étiquetés et conservés au frais dans un mini congélateur. Le type de poissons analysés était la Silure (Clarias). Les échantillons d'eau et de sédiments prélevés ont été conservés dans des glacières pendant leur transport vers le lieu d'analyse. Les échantillons d'eau destinés pour caractérisation des éléments traces métalliques ont été acidifiés avec de l'acide nitrique concentré à 4% et peuvent être conservés jusqu'à six mois avant d'être analysés. Des mesures in situ ont été réalisées notamment le pH, la conductivité (CE), la température, l'oxygène dissout. Au laboratoire, des mesures du pH, de la conductivité électrique (CE), de la couleur, de la turbidité et la détermination des éléments traces métalliques (ETM). Plusieurs méthodes ont été utilisées au laboratoire qui sont entre autres la spectrophotométrie (240FS AA) pour déterminer les ETM dans les eaux, la spectroscopie de fluorescence X (XRF) pour déterminer les ETM dans les sédiments et le poisson. La couleur a été déterminée à l'aide de la méthode de spectrophotométrie 890 (HACH). Celle de la spectrophotométrie TL2310 de marque HACH a été utilisée pour la mesure de la turbidité.

3. Résultats

3-1. Résultats des paramètres in situ

Cette partie est consacrée aux résultats des mesures effectuées sur le terrain de l'amont en passant par le milieu et l'aval de la rivière Bagoé. Il s'agit des mesures du pH, de la CE, de la température et de l'oxygène dissout. Le **(Tableau 1)** représente les échantillons d'eau prélevés et consacré aux résultats des mesures in situ obtenus lors de l'échantillonnage sur le terrain.

Tableau 1 : Résultats des paramètres in-situ

Sites	pH	CE μS/cm	Température °C	Oxygène dissout mg/L
Amont				
RD	7,08	28	28	0,02
M	6,46	49	27,9	0,07
RG	6,30	48	27,2	0,00
Milieu				
RD	5,50	37	26,8	0,11
M	5,56	36	27,3	0,12
RG	5,43	34	28	0,03
Aval				
M	6,89	36	26,8	2,44
Normes	$6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$	750-1300	20-25	7-5

Source : Laboratoire National des Eaux, 2026

pH : potentiel d'Hydrogène, CE : Conductivité Electrique, RD : Rive Droite, M : Milieu, RG : Rive Gauche, mg/L : milligramme par litre, °C : degrés Celsius, μS/cm : micro siemens par centimètre.

Les résultats du **(Tableau 1)** montrent que la valeur moyenne en pH trouvée était de 6,17 qui caractérise un pH légèrement acide. Le pH détermine l'acidité ou la basicité de l'eau et ses caractéristiques sont liées à la nature géologique ainsi qu'à la charge du milieu auquel il est soumis. Les conductivités électriques (CE) oscillaient entre 49 μS/cm et 28 μS/cm. La valeur la plus élevée était trouvée au milieu (M) avec 49 μS/cm. Ces eaux étaient faiblement minéralisées. La valeur moyenne en température était de 27,43°C. Ces valeurs sont légèrement supérieures à la norme et se trouve dans la classe d'une eau de mauvaise qualité selon la grille d'évaluation des eaux de surface. La valeur moyenne trouvée en oxygène dissout était 0,40 mg/L. Cela explique une mauvaise oxygénation du cours d'eau.

3-2. Résultats des paramètres déterminés au laboratoire

Cette partie est consacrée aux échantillons des eaux prélevées sur la rivière Bagoé (amont, milieu et aval) et contient les résultats des analyses effectuées au laboratoire. Il s'agit des mesures du pH, de la conductivité électrique (CE), de la couleur, de la turbidité et des éléments traces métalliques (ETM). Le **(Tableau 2)** représente les échantillons prélevés et contient des résultats du pH, de la CE, de la couleur et de la turbidité.

Tableau 2 : Résultats du pH, de la CE, de la couleur et de la turbidité

Sites	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Couleur (UCV)	Turbidité (NTU)
RD	7,40	37	502600	97800
M	5,50	36	584400	87800
RG	5,48	35	602000	91600
RD	6,08	28	528400	80200
M	6,43	49	535200	83000
RG	6,36	48	525600	79200
M	6,13	36	528400	79600
Normes	$6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$	750-1300	20-50	-

Source : Laboratoire National des Eaux, 2026

pH : potentiel d'Hydrogène, CE : Conductivité Electrique, $\mu\text{S}/\text{cm}$: micro siemens par centimètre, RD : Rive Droite, M : Milieu, RG : Rive Gauche, mg/L : milligramme par litre, UCV : Unité de Couleur Vraie, NTU : Nephelometric Turbidity Unit.

Les résultats du (**Tableau 2**) montrent que les valeurs moyennes en couleur et en turbidité étaient respectivement 543800 UCV et 85600 NTU. Cette forte couleur est due à l'utilisation des dragues sur le lit majeur des cours d'eau. Le (**Tableau 3**) représente les échantillons prélevés et contient des résultats des ETM.

Tableau 3 : Résultats des ETM dans les eaux de la rivière Bagoé

Sites	Cu mg/L	Ni mg/L	Cd mg/L	Zn mg/L	Mn mg/L	Co mg/L	Ag mg/L	Fe mg/L	Pb mg/L
Amont									
RD	0,056	0,054	0,000	0,000	4,411	0,212	0,001	0,764	0,027
M	0,000	0,000	0,000	0,000	1,568	0,086	0,009	0,000	0,000
RG	0,000	0,069	0,000	0,000	1,302	0,087	0,003	0,000	0,000
Milieu									
RD	0,000	0,000	0,000	0,000	0,856	0,219	0,007	0,000	0,027
M	0,000	0,019	0,000	0,000	0,865	0,187	0,009	0,000	0,024
RG	0,000	0,034	0,000	0,000	0,658	0,122	0,009	0,000	0,027
Aval									
M	0,003	0,081	0,000	0,000	3,589	0,235	0,004	0,000	0,027
Normes	0,02-0,05	≤ 20	≤ 3	0,5-1	0,1-0,5	-	-	0,5-1	≤ 10

Source : Laboratoire National des Eaux, 2026

Cu : Cuivre, Ni : Nickel, Cd : Cadmium, Zn : Zinc, Mn : Manganèse, Co : Cobalt, Ag : Argent, Fe : Fer, Pb : Plomb.

Au regard des résultats dans le (**Tableau 3**), les teneurs en cuivre variaient entre 0,000 et 0,056 mg/L. La valeur supérieure en cuivre a été trouvée à la rive droite (RD) avec 0,056 mg/L. Les teneurs en cadmium (Cd) et en zinc (Zn) sont inférieures à la norme. La valeur moyenne en manganèse (Mn) était 10,17 mg/L. Cette valeur est supérieure à la norme. Les teneurs oscillaient entre 0,000 mg/L et 0,764 mg/L pour le fer total et 0,000 mg/L et 0,027 mg/L pour le plomb (Pb). Ces valeurs sont inférieures à la norme. Le (**Tableau 4**) représente les échantillons de sédiment prélevés et contient des résultats du mercure (Hg), du cadmium (Cd), du plomb (Pb), du zinc (Zn), de l'arsenic (As), du cuivre (Cu), du chrome (Cr), du manganèse (Mn), du nickel (Ni) et de l'argent (Ag).

Tableau 4 : Résultats des ETM dans les sédiments

Éléments Recherchés	Unités	Rivière Bagoé						NQE de 1 ^{er} palier écologique mg/kg
		Amont		Milieu		Aval		
		RG	RD	RD	RG	RD	RG	
Hg	ppm	10	12	11	18	12	16	0,486
Cd	ppm	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	3,5
Pb	ppm	< LOD	< LOD	11,14	12,43	< LOD	11,81	91,3
Zn	ppm	24,93	41,43	88,21	81,16	43,95	76,95	315
As	ppm	< LOD	12,28	12,85	18,89	3,77	16,08	17
Cu	ppm	< LOD	< LOD	< LOD	12,63	< LOD	18,34	197
Cr	ppm	20,98	186,55	166,13	167,63	99,08	229,93	90
Mn	ppm	< LOD	190,81	322,83	343,07	96,47	596,89	1100
Ni	ppm	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	75
Ag	ppm	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	-

Source : Laboratoire National des Eaux, 2026

Hg : Mercure, Cd : Cadmium, (Pb : plomb, Zn : Zinc, As : Arsenic, Cu : Cuivre, Cr : Chrome, Mn : Manganèse, Ni : Nickel et Ag : Argent, ppm : parti par million, RG : Rive Gauche, RD : Rive Droite, NQE : Norme de Qualité Environnementale, < LOD : Inférieure à la limite de détection, mg/kg : milligramme par kilogramme.

Les résultats dans le (**Tableau 4**) montrent que les valeurs moyennes en mercure (Hg) et en chrome (Cr) contenus dans les sédiments prélevés étaient respectivement 17,13 ppm soit 27 fois supérieure à la norme (0,486 mg/kg) et 145,05 ppm supérieure à la norme (90 mg/kg). La valeur moyenne en zinc (Zn) était 59,44 ppm. Cette valeur est inférieure à la norme (NQE). Des traces de plomb (Pb), de cuivre (Cu) et de manganèse (Mn) ont été trouvés dans les sédiments avec des valeurs inférieures à la norme (NQE). Des valeurs élevées en arsenic (As) ont été décelées au milieu au niveau de la rive gauche avec 18,89 ppm dépassant la norme (17 mg/kg). L'analyse des résultats des ETM étudiés révèle que les sédiments prélevés sont contaminés par endroit. Cette contamination est due aux activités d'orpaillage dans la zone étudiée. Le (**Tableau 5**) représente l'échantillon de poisson prélevé et contient des résultats du mercure (Hg), du cadmium (Cd), du plomb (Pb), du zinc (Zn), de l'argent (Ag), de l'arsenic (As), du cuivre (Cu), du chrome (Cr), de la manganèse (Mn) et du nickel (Ni).

Tableau 5 : Résultats des ETM dans le poisson

Eléments recherchés	Types de poissons :	(UE) 2023/915 du 25 avril 2025/ (CE)
	Silure	n°1881/2006 (mg/kg)
Mercure (ppm)	47	0,50
Cadmium (ppm)	15,17	0,25
Plomb (ppm)	1	0,30
Zinc (ppm)	232,83	-
Argent (ppm)	4,89	-
Arsenic (ppm)	1	-
Cuivre (ppm)	< LOD	-
Chrome (ppm)	< LOD	-
Manganèse (ppm)	< LOD	-
Nickel (ppm)	< LOD	-

Source : Laboratoire National des Eaux, 2026

ETM : Eléments Traces Métalliques, ppm : parti par million, < LOD : Inférieure à la limite de détection, mg/kg : milligramme par kilogramme, UE : Union Européenne.

NB : 1 ppm = 1 mg/kg, 1 mg/kg = 1000 µg/kg, 1 µg/kg = 0,001 mg/kg

Les résultats dans le (**Tableau 5**) montrent que les concentrations en mercure (Hg), en cadmium (Cd) et en plomb (Pb) étaient respectivement 47 ppm soit 94 fois supérieures aux normes Européennes (0,50 mg/kg),

15,17 ppm soit 61 fois supérieures aux normes Européennes (0,25 mg/kg) et 1 ppm soit 3 fois supérieures aux normes Européennes (0,30 mg/kg). Ces différentes valeurs doivent faire l'objet de séries de plusieurs analyses pour être confirmées. Les **Photos (1, 2, 3, 4, 5 et 6)** ci-dessous ont été prises lors de la campagne de terrain.



Photo 1 : *Lessivage de l'or sur le Bagoé, (Hanni KONE, 2026)*



Photo 2 : *Dragage semi mécanisé sur le Bagoé (Hanni KONE, 2026)*



Photo 3 : *Lessivage de l'or sur le Bagoé, (Hanni KONE, 2026)*



Photo 4 : *Dragage mécanisé sur le Bagoé (Hanni KONE, 2026)*



Photo 5 : *Destruction de l'environnement, (Hanni KONE, 2026)*



Photo 6 : *Bagoé détruit par la recherche de l'or (Hanni KONE, 2026)*

Les **Photos (1, 2, 3 et 4)** montrent les activités de l'orpaillage sur les cours d'eau et les **Photos (5 et 6)** montrent l'impact de la recherche de l'or sur la rivière Bagoé.

4. Discussion

4-1. Température

Les températures mesurées oscillaient entre 26,8°C à 28°C. La plus forte température était à 28°C en amont de la rive droite et en aval au milieu de la rivière Bagoé (**Tableau 1**). Cela peut favoriser la croissance des microorganismes et peut affecter aussi la solubilité des gaz et des sels dans l'eau. Ces résultats concordent avec les résultats des travaux réalisés dans le département de Dimbokro, au centre Est de la Côte d'Ivoire où les températures des eaux de surface varient de 25,10°C au niveau du site AHOU SW à 30,2°C au niveau de BOOR A2 avec une moyenne de 27,02 °C $\pm$ 1,56 [19]. En Côte d'Ivoire, au département de Divo au Centre-Ouest, à Afema dans le Sud-Est et à Marcory, les résultats des travaux réalisés ont montré que les températures des eaux variaient respectivement entre 24,1°C à la station MR, rivière située sur la route de la mine d'Agbaou à 2 km de la mine sur le bassin de boubo et 30,3 °C à la station HR7, eau de surface utilisée pour les activités d'orpaillage sur le bassin de bandama avec un écart type de 1,21°C et une moyenne de 26,7°C. Les valeurs les plus fréquentes sont situées entre 25 et 27 °C. Cet intervalle représente plus de 81% [20] et de 25,7 à 27,30 °C avec une moyenne de 26,71°C [21]. En République Démocratique de Congo, les résultats des travaux ont montré que la température de l'eau enregistrée pendant les deux saisons d'étude dans les cinq stations étudiées dans la rivière Musolo est située entre 25,9 et 29,7°C. La valeur de la température la plus élevée était 167 observées à la station V en saison sèche (29,1°C) et à la station III en saison des pluies (29,7°C). La faible valeur de température était observée à la station II en saison des pluies (25,9°C) [22]. Toutes ces valeurs confirment les résultats de la présente étude.

4-2. pH

Les résultats de nos travaux ont montré que les valeurs moyennes du pH étaient de 6,17 pour les mesures in situ et 6,20 pour les mesures au laboratoire. Ces valeurs sont légèrement inférieures à la norme (**Tableau 1 et 2**). Ce sont des pH légèrement acides. Les résultats de la présente étude confirment les résultats des études menées dans des zones minières et ayant révélés des mesures aussi conformes dans les eaux usées. C'est le cas des études menées en Côte d'Ivoire où les valeurs moyennes du pH étaient 6,83 en zone d'orpaillage de Hiré et 6,94 en zone d'orpaillage de Degbézéré [23]. En république de Guinée, à Siguiri, les résultats des travaux ont montré que les pH étaient 6,63 à Koba Moolman et 6,85 à Koba Boukaria [24]. Dans le secteur Dimonika, dans le massif forestier du Congo, les résultats des travaux ont montré que le pH des eaux de surface de la zone d'étude varie entre 4.7 et 6.8, avec une moyenne de 6.2 $\pm$ 0.6 [25]. Toutes ces valeurs corroborent avec les résultats de la présente étude.

4-3. Conductivité électrique (CE)

Les résultats de nos travaux ont montré que les valeurs moyennes en CE étaient 38,29 μ S/cm pour les mesures de terrain et 38,43 μ S/cm pour les mesures au laboratoire. Ces eaux sont faiblement minéralisées (**Tableau 1 et 2**). Des études antérieures réalisées dans les zones et ayant signalées également des valeurs importantes en CE. Notamment, les résultats des travaux réalisés en République Démocratique du Congo ont montré qu'en saison sèche, les valeurs moyennes de la conductivité électrique les plus élevées ont été observées à PR avec 453 μ S/cm et les plus basses ont été observées à LUF avec 308 μ S/cm [26]. En Côte d'Ivoire, les résultats des travaux ont montré que la CE a varié de 67,8 à 574 μ S/cm, avec une moyenne de 281,55 μ S/cm. Cela montre que les eaux sont moyennement minéralisées et ne contiennent pas assez de sels minéraux dissous. En effet, la minéralisation correspond à la totalité des sels dissous contenus dans l'eau [5].

4-4. Oxygène dissout

Au regard des résultats (*Tableau 1*), les valeurs de l'oxygène dissout variaient entre 0,02 mg/L à 0,11 mg/L. Ces valeurs sont très faibles et cela signifie un manque d'oxygène dans la rivière de Bagoé. D'où la vie aquatique est quasiment inexistante. Les résultats de cette étude corroborent avec des études menées dans les zones minières et ayant rapportées des mesures aussi importantes dans des rejets miniers. C'est le cas des travaux de recherche en République Démocratique de Congo (RDC) où les valeurs de l'oxygène dissout enregistrées dans les sites d'échantillonnage oscillaient entre 20,2 mg/L 10^{-1} à 50,7 mg/L 10^{-1} mais avec une quantité d'oxygène dissous la plus remarquable observée au site de SE4 avec 50,7 mg/L 10^{-1} [27]. Des études menées sur le fleuve Cavally à Zouan-hounien en Côte d'Ivoire ont révélé que la valeur en oxygène dissout obtenue (< 3 mg/L) atteste de la mauvaise qualité de l'eau selon la norme OMS [28]. En RDC, les résultats similaires ont été obtenus dans des miroirs d'eau de crocodiles du Centre de Recherche en Hydrobiologie (CRH/Uvira), où la valeur élevée de l'oxygène dissous (4, 14 ppm) a été obtenue dans le miroir 2 et la faible valeur (3,99 ppm) a été enregistrée dans le miroir 1 [29].

4-5. Teneurs en ETM

L'analyse des résultats a montré que des teneurs en cuivre variaient entre 0,000 et 0,056 mg/L et la valeur la plus élevée a été trouvée à la rive droite (RD) avec 0,056 mg/L. La valeur moyenne en manganèse (Mn) était 10,17 mg/L. Cette valeur est supérieure à la norme tandis que les teneurs en cadmium (Cd) et en zinc (Zn) sont inférieures à la norme. Quant aux teneurs en fer total et en plomb (Pb), elles étaient respectivement entre 0,000 mg/L et 0,764 mg/L et 0,000 mg/L et 0,027 mg/L. Ces valeurs sont inférieures à la norme. Pour les autres métaux recherchés (Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Mn), ils sont inférieurs aux normes. Dans les sédiments, les valeurs moyennes en mercure (Hg) et en chrome (Cr) étaient respectivement 17,13 ppm soit 27 fois supérieure à la norme (0,486 mg/kg) et 145,05 ppm supérieure à la norme (90 mg/kg). La valeur moyenne en zinc (Zn) était 59,44 ppm. Cette valeur est inférieure à la norme (NQE). En plus, des traces de plomb (Pb), de cuivre (Cu) et de manganèse (Mn) ont été trouvées avec des valeurs inférieures à la norme (NQE). Des valeurs élevées en arsenic (As) ont été décelées au milieu au niveau de la rive gauche avec 18,89 ppm dépassant la norme (17 mg/kg). Concernant le poisson, des concentrations en mercure (Hg), en cadmium (Cd) et en plomb (Pb) étaient respectivement 47 ppm soit 94 fois supérieures aux normes Européennes (0,50 mg/kg), 15,17 ppm soit 61 fois supérieures aux normes Européennes (0,25 mg/kg) et 1 ppm soit 3 fois supérieures aux normes Européennes (0,30 mg/kg) (*Tableau 3, 4, et 5*). Au Cameroun, l'étude sur l'évaluation du niveau de pollution des déchets des sites miniers de Kombo-Laka, Plateau de l'Adamaoua, Cameroun a révélé des concentrations importantes en Cr (189,70 mg/kg), Ni (45,01 mg/kg), Cu (44,64 mg/kg), Zn (62,00 mg/kg), As (45,65 mg/kg), Cd (0,30 mg/kg), Sb (42,32 mg/kg) et Pb (26,24 mg/kg), susceptibles de contaminer les sols et les eaux aux alentours de la mine [30]. Au Maroc, les travaux réalisés ont montré que les valeurs d'arsenic enregistrées à l'ensemble des stations de prélèvement des rejets d'eau de mine ne dépassent pas les valeurs limites des rejets industriels dans les eaux de surface ou souterraines fixées à 50 $\mu\text{g/L}$, sauf dans la station Ex 2 qui avait une concentration supérieure à la norme pendant le C1. Au cours du C1, ils montrent une variabilité significative de l'aval à l'amont de la mine, qui varie entre 83 $\mu\text{g/l}$ et 2,5 $\mu\text{g/l}$ aux stations Ex 2 et Ex 1 respectivement [31]. Au Niger, les résultats des travaux réalisés montrent que les concentrations en Cd dans les sédiments du fleuve Niger varient de 0,20 à 4,94 $\mu\text{g. g}^{-1}$. Les sites localisés en amont et aval de Niamey S1, S2, S5 et S7 ont une teneur en Cd supérieure au seuil de 1 $\mu\text{g. g}^{-1}$ fixé par l'agence britannique de l'environnement comme valeur de référence pour les sols des zones urbaines [32]. Au Niger, les résultats des travaux ont conclu que les plus fortes concentrations en ETM obtenues sont détectées dans la zone minière suggérant que l'orpaillage est une source de pollution des sols [33]. A Bétaré-Oya, dans l'Est du Cameroun, les travaux de recherche

existants ont montré que les sols de Bétaré-Oya et les sédiments des cours d'eau sont contaminés par des métaux et des métalloïdes qui dépassent les valeurs GB établies pour le sol (Co $\approx$ 17,73 mg/kg, Cd $\approx$ 0,36 mg/kg, Cu $\approx$ 146,81 mg/kg et As $\approx$ 48,82 mg/kg) et les valeurs GB pour les sédiments fluviaux (Co $\approx$ 30,90 mg/kg, Cd $\approx$ 0,24 mg/kg, Cu $\approx$ 173 mg/kg, As $\approx$ 51,59 mg/kg, Cr $\approx$ 137 mg/kg, Pb $\approx$ 7,56 mg/kg et Zn $\approx$ 39,48 mg/kg) [34]. A Kéniéba, au Mali, les travaux de recherche existants ont montré que la valeur moyenne des ETM contenus dans les sédiments prélevés se présente comme suit : cadmium (Cd) : 1 ppm ; chrome (Cr) : 220 ppm ; cuivre (Cu) : 10 ppm ; mercure (Hg) : 16 ppb ; nickel (Ni) : 8 ppm ; plomb (Pb) : 8 ppm ; zinc (Zn) : 37 ppm ; manganèse (Mn) : 376 ppm ; arsenic (As) : 20 ppm ; cobalt (Co) : 23 ppm. La plus forte valeur moyenne est de 376 ppm pour le manganèse (Mn) et la plus faible valeur moyenne est de 1 ppm pour le cadmium (Cd). Des concentrations élevées ont été enregistrées sur la Falémé : chrome (Cr) avec 359 ppm ; cobalt (Co) avec 259 ppm ; cuivre (Cu) avec 34 ppm ; plomb (Pb) avec 35 ppm pour l'échantillon E3 ; zinc (Zn) avec 92 ppm pour l'échantillon E4 ; arsenic (As) avec 71 ppm pour l'échantillon E6. Des concentrations élevées ont été enregistrées sur le fleuve Sénégal : manganèse (Mn) avec 741 ppm pour l'échantillon E10. En se basant sur la seule teneur moyenne du mercure dans les sédiments des différents cours d'eau le Bakoye avec 11,5 ppb ; le Bafing avec 15,5 ppb ; la Falémé avec 20,6 ppb et le fleuve Sénégal avec 10 ppb. Ces valeurs sont largement supérieures à la norme (NQE) [35]. Les teneurs moyennes en mercure et en cadmium étaient respectivement à 375 mg/kg dont la moyenne maximale a été décelée à Diangola dans le poisson chien avec 526 mg/kg dépassant la norme (0,50 mg/kg) et à 14,8 mg/kg dépassant nettement la norme (0,25 mg/kg). La teneur moyenne en aldrine dans les poissons était à 1,47 mg/kg dépassant la valeur Guide de l'OMS (0,00003 mg/L) [36]. Ces résultats antérieurs cités corroborent avec les résultats de la présente étude.

5. Conclusion

L'étude a relevé une pollution des eaux et la contamination des sédiments et du poisson, causées par les activités d'orpaillage. Cependant, les eaux de la rivière Bagoé sont des eaux de mauvaise qualité où le taux d'oxygène dissout insignifiant, avec des fortes colorations. Quant aux sédiments et le poisson, des teneurs élevées de mercure, de chrome, de plomb, de cadmium dans ces échantillons. La rivière Bagoé est sérieusement détruite par l'utilisation des dragues et l'utilisation des gros engins dans le lit majeur. Ces pratiques dévastatrices de l'environnement et de l'écosystème aquatique doivent être stoppées immédiatement. Cette pollution de la rivière Bagoé peut être une menace pour le fleuve Niger et ses affluents dans les jours à venir. Donc les autorités sont interpellées à faire prendre des mesures appropriées afin de sauver ce cours d'eau. Nous recommandons une meilleure vulgarisation du code minier auprès des orpailleurs et la mise en place des mécanismes de contrôle communautaire afin de veiller l'application strict de ce code.

Références

- [1] - H. KONE, F. K. YARO, M. M. TRAORE, A. S. DIARRA & S. BA, Impact de l'orpaillage sur la qualité des eaux de la Falémé à Kéniéba, Mali. *Afrique SCIENCE*, 25 (4) (2024) 102 - 117. <https://www.afriquescience.net>
- [2] - P. K. MWENDWA, Women participation in artisanal gold mining: A case of macalder mines, Kenya. *Journal of Environmental Sciences and Technology* (JEST), 2 (1) (2023) 79 - 90. <https://doi.org/10.51317/jest.v2i1.340>
- [3] - A. A. KONATÉ, M. DIALLO & D. SIDIBÉ, Collapse of underground galleries in gold-panning mines: Perception of stakeholders in the Doko Sub-Prefecture, Siguiri Prefecture, Republic of Guinea. *Environ. Socio.-econ. Stud.*, 12, 3 (2024) 23 - 36, DOI: <https://10.2478/environ-2024-0017>
- [4] - D. GOH, L'exploitation artisanale de l'or en Côte d'Ivoire : La Persistance d'une activité illégale, *European Scientific Journal*, 12 (3) (2016) 18 - 36. <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n3p18>
- [5] - K. E. AHOUSSEI et A. P. YAPO, « Étude de la minéralisation des eaux de surface en éléments traces métalliques (ETM) des zones d'orpaillage de la sous-préfecture de Kokumbo, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire », *Afrique Science*, 19 (4) (2021) 36 - 50. <https://www.afriquescience.net>
- [6] - K. F. KONDO, I. TCHAKALA, W. G. SAMBIENOU, M. D. T. GNAZOU & D. MAMA, Study and Assessment of Trace Metal Contamination (As, Cd, Pb and Hg) in Water Resources from the Headwaters of the Ouémé and Pendjari Watersheds in the Copargo Municipality, Northwestern Benin. *Nature Environment and Pollution Technology an International Quarterly Scientific Journal*, 24 (4) D1744 (2025). <https://doi.org/10.46488/NEPT.2025.v24i04.D1744>
- [7] - S. K. MENSAH, E. K. NYANTAKYI, G. S. MENSAH, E. K. SIABI, N. O. B. ACKERSON, P. ANTWI-AGYEI & C. VUU, Assessing the environmental and socio-economic impacts of small-scale mining activities in the Atiwa East District of Ghana. *Scientific African*, 27 (2025) e02542. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2025.e02542>
- [8] - M. MULENGA, K. O. OUMA, C. MONDE & S. SYAMPUNGANI, Aquatic mercury pollution from artisanal and small-scale gold mining in sub-Saharan Africa: Status, Impacts, and Interventions. *Water*, 16 (5) (2024) 756. <https://doi.org/10.3390/w16050756>
- [9] - A. A. OUATTARA, N. SANGARE, K. M. YAO, A. TROKOUREY et T. DIACO, « Evaluation de la contamination des éléments traces métalliques dans les sédiments de la rivière N'zi, Côte d'Ivoire : Assessment of trace metals contamination in sediments of N'zi River, Côte d'Ivoire », *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, (15) (5) 2199 - 2208, 2021. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i5.38>
- [10] - I. DIAGNE, S. DRAME, M. NDIAYE, B. NDIAYE et A. DIOP, « Caractérisation physico-chimique et contamination métallique des eaux usées déversées au niveau de la baie de Hann (Dakar/Sénégal) », *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, (11) (1) (2017) 462 - 472, DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i1.37>
- [11] - UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME, « The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater — The Untapped Resource. », UNESCO 2017, (2017) 41 p.
- [12] - Y. LU, S. SONG, R. WANG, Z. LIU, J. MENG, A. J. SWEETMAN, A. JENKINS, R. C. FERRIERE, H. LI, W. LUO and T. WANG, « Impacts of soil and water pollution on food safety and health risks in China », *Environment International*, 77 (2015) 5 - 15. [10.1016/j.envint.2014.12.010](https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.12.010)
- [13] - F. DIAWARA, B. SANGARÉ, A. TOURÉ, A. S. DABO, S. T. DENA, M. COULIBALY & I. TERERA, Impacts of artisanal gold mining on aspects of sustainable development in the Kangaba District (Mali) in 2025: a mixed environmental, social and economic approach. *GSI*, 14 (4) (2026). www.globalscientificjournal.com

- [14] - F. KEITA, D. DIARRA, M. FANÉ & S. I. DIAWARA, Impacts environnementaux et sanitaires de l'orpaillage artisanal à Koba (Mali): vers une gouvernance locale pour une exploitation responsable. *Revue Internationale de la Recherche Scientifique et de l'Innovation (Revue-IRSI)*, 3 (6) (2025) 1853 - 1868. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18160779>
- [15] - H. DIAWARA, S. B. TRAORÉ, O. TRAORÉ & B. COULIBALY, Etat des lieux du Changement climatique et stratégies d'adaptation de l'agriculture paysanne : cas de la commune rurale de Bossofala dans la région de Koulikoro au Mali. *MSAS*, (2022). <https://msasmali.org/symposium-2022/>
- [16] - S. SANOGO, L. TRAORE, C. O. DIOP, I. SIDIBE, A. SYLLA & Z. DIALLO, Analyse des facteurs déclencheurs du déplacement climatique au Mali. *Revue Africaine des Migrations Internationales*, (1) (2024) 1 - 17. <https://revues.imist.ma/index.php/RAMI>
- [17] - A. DEMBELE, Y. K. COULIBALY & M. Y. DEMBELE, Effets de l'orpaillage sur l'environnement dans la commune rurale de Fourou, cercle de Kadiolo, au Mali. *Revue Internationale de la Recherche Scientifique et de l'Innovation (Revue-IRSI)*, 3 (3) (2025) 483 - 496. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15437120>
- [18] - A. A. KONATÉ, D. B. SANGARÉ, B. F. N'DIAYE & N. J. DEMBÉLÉ, Community Perception on Environmental Impacts of Artisanal Gold Mining : a Case Study from commune of Fourou, Republic of Mali. *Journal of Mining and Environment (JME)*, Vol. 16, N° 4 (2025) 1221 - 1236, DOI: <https://10.22044/jme.2025.15169.2900>
- [19] - Y. A. PATRICK, Impact des activités d'orpaillage sur les environnements hydrologiques et la recharge des aquifères : cas du département de Dimbokro (centre est de la Côte d'Ivoire (Doctoral dissertation, *Université Félix Houphouët Boigny de Cocody*), (2024). <https://theses.hal.science/tel-05509760v1>
- [20] - Y. K. S. ARISTIDE et K. E. AHOUSSE, « Caractérisation physico-chimique des eaux de surface dans un environnement minier du centre-Ouest de la Côte d'Ivoire : Cas du Département de Divo », *European Scientific Journal*, (16) (12) (2020). Doi : <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2020.v16n12p293>
- [21] - K. A. F. YAO, « Développement d'une méthodologie pour une meilleure évaluation des impacts environnementaux de l'industrie extractive », PhD Thesis, Université Montpellier, Université Félix Houphouët-Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), (2018). <https://theses.hal.science/tel-01748054v1>
- [22] - C. M. KILINGWA, S. K. MUTANDA, N. B. MUAMBA, L. K. NZADIMWENA, W. L. SWANA et V. P. KIAMFU, « Evaluation de la Qualité Écologique de la Rivière Musolo à Kinkole Basée sur les Macroinvertébrés Benthiques (Kinshasa, RD Congo) », *European Journal of Scientific Research*, (155) (2) (2020) 162 - 176, <http://www.europeanjournalofscientificresearch.com>
- [23] - L. M. KOUADIO, Contribution à l'évaluation des niveaux de contamination des eaux et des sols des sites d'orpaillage clandestin et élimination des métaux (Hg, Pb, Cd) et de l'arsenic des eaux polluées, à l'aide des argiles de Côte d'Ivoire (Doctoral dissertation, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody Abidjan Côte d'Ivoire), (2023). <https://hal.science/tel-04148757v1>
- [24] - M. CISSE, N. KEITA, F. S. SOUMAH, S. CONDE & L. SANGARE, Évaluation de la pollution des eaux et du sol des zones d'orpaillage à Siguiri en Guinée, (2025). DOI: <https://10.5281/zenodo.15444055>
- [25] - C. M. DIPAKAMA, N. WATHA-NDOUDY, J. D. D. NZILA, I. N. MOUKAHA & V. KIMPOUNI, Impact de l'exploitation artisanale de l'or sur l'environnement dans le secteur de Dimonika (Massif forestier du Mayombe, Congo). *European Scientific Journal, ESJ*, 20 (17) (2024) 68. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n17p68>
- [26] - L. AKATUMBILA, M. MABIALA, A. LUBINI et K. PWEMA, « Contribution à l'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau : cas de la rivière urbaine Gombe de Kinshasa/République Démocratique du Congo », 26 (2016) 7 - 29. <http://www.larhyss.net/ojs/index.php/larhyss/issue/view/52>

- [27] - P. D. KABUNGA, D. L. BIKUBANYA & S. MARIJSSE, Croyances culturelles et effectivité sur l'exploitation minière artisanale en RDC : entre contestation et négociation. *Conjonctures de l'Afrique centrale*, 235 (2021). <https://repository.uantwerpen.be/docman/irua/5a4d60/182082.pdf>
- [28] - K. K. SÉRAPHIN, K. K. LAZARE, K. K. FÉLIX, Y. A. SYLVESTRE & B. L. ALEXIS, Impacts de l'orpaillage sur la morphologie et la qualité des eaux du fleuve Cavally (Zouan-hounien, Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 28 (2) (2020) 515 - 524. <http://www.ijias.issr-journals.org/>
- [29] - R. S. RUKAHUSA, C. A. SHEKANI, A. B. BISHOBIBIRI, C. F. KYANDA, D. M. RISASI, A. R. BASHONGA, M. M. MAKUBULI, I. K. KATAGATA, N. N. BUGABANDA et S. EKYAMBA, Diversité des macroinvertébrés benthiques des miroirs d'eau de crocodiles du Centre de Recherche en Hydrobiologie (CRH/Uvira), RD Congo. *Afrique SCIENCE*, 21 (5) (2022) 153 - 162. <https://www.afriquescience.net>
- [30] - S. D. DANGA, L. E. NGA, B. A. IBRAHIM, D. TIKI, L. E. MAMDEM & D. L. BITOM, Évaluation du niveau de pollution des déchets des sites miniers de Kombo-Laka, Plateau de l'Adamaoua, Cameroun. *Afrique SCIENCE*, 24 (2) (2024) 1 - 14. <https://www.afriquescience.net>
- [31] - M. EL FAHEM, A. BENZAOUAK, H. ZOUTEN, A. SERGHINI and M. FEKHAOU, « Hydrogeochemical assessment of mine water discharges from mining activity. Case of the Haut Beht mine (central Morocco) », *AIMS Environmental Science*, (8) (1) (2021) 60 - 85. DOI: <https://10.3934/environsci.2021005>
- [32] - H. S. ADAMOU, B. ALHOU, M. TACKX, J. L. PROBST & F. AZEMAR, Distribution et enrichissement des éléments traces métalliques dans les sédiments du fleuve Niger, Niger : Distribution and enrichment of trace metal elements in the sediments of the Niger River, Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16 (6) (2022) 2945 - 2963. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i6.38>
- [33] - O. Z. IBRAHIM, A. T. DAN-BADJO, Y. GUERO, F. M. M. IDI, C. FEIDT, T. STERCKEMAN & G. ECHEVARRIA, Distribution spatiale des éléments traces métalliques dans les sols de la zone aurifère de Komabangou au Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13 (1) (2019) 557 - 573. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i1.43>
- [34] - E. D. E. PATERNIE, R. HAKKOU, L. E. NGA, L. D. B. OYONO, A. Z. E. BESSA, S. OUBAHA and A. KHALIL, « Geochemistry and geostatistics for the assessment of trace elements contamination in soil and stream sediments in abandoned artisanal small-scale gold mining (Bétaré-Oya, Cameroon) », *Applied Geochemistry*, Vol. 150, (2023) 105592 p. <https://www.elsevier.com/>
- [35] - H. KONE, F. K. YARO, O. LY, M. M. TRAORE, D. DJIGUIBA & M. L. DOUMBIA, Contamination des sédiments par les pesticides et les métaux lourds dans le bassin du fleuve Sénégal et ses affluents, République du Mali. *Afrique Science*, 26 (4) (2025) 12 - 27. <https://www.afriquescience.net>
- [36] - H. KONE, F. K. YARO, A. SY, A. TOGO, B. BERTHE & F. B. DEMEBELE, Niveau de contamination des poissons par les pesticides et par les métaux lourds dans le fleuve Sénégal et ses affluents, Mali. *Afrique SCIENCE*, 27 (2) (2025) 92 - 105. <https://www.afriquescience.net>