

Implications environnementales de l'exploitation industrielle aurifère à Morila (Mali)

Moussa Fadiala BOCOUM

Docteur en Géographie-Environnement,

Institut Post Universitaire (Mali),

Email : bfadiala@gmail.com

Date de soumission : 15-02-2026

Date de publication : 31-03-2026

Doi : <https://dx.doi.org/10.4314/akiri.v4i2.54>

Résumé

La présente étude a pour objectif d'analyser les impacts environnementaux, des activités minières aurifères à Morila. La méthodologie repose sur des enquêtes qualitatives et quantitatives menées auprès des autorités et populations, avec des analyses d'eaux et des cartographies d'occupation des sols et hydrographique. Les résultats obtenus ont permis de savoir que les structures physico-chimiques des eaux ne sont pas conformes aux normes tant sur les données qualitatives que quantitatives (82,35%). La déforestation est aussi fortement accrue. Elle pourrait être imputable à la pression démographique impulsée par la mine.

Mots clés : Environnement, Mali, métaux, or, pollution.

Environmental implications of industrial gold mining in Morila (Mali)

Abstract

This study aims to analyze the environmental impacts of gold mining activities in Morila. The methodology is based on qualitative and quantitative surveys conducted with authorities and local populations, along with water analyses and land-use and hydrographic mapping. The results obtained revealed that the physicochemical structure of the water does not meet standards, both in terms of qualitative and quantitative data (82.35%). Furthermore, deforestation has increased significantly, and this could be attributed to population pressure driven by the mine.

Keywords : Environment, gold, Mali, metals, pollution.

Introduction

Plusieurs pays, surtout situés en Afrique notamment ceux qui manquent de financement adéquat pour les besoins de sécurité environnementale ont reçu comme héritage des travaux non sécuritaires et des sites pollués (Rapport Banque mondiale, 2002: 8). Dans plusieurs cas, où les mines sont situées dans les régions éloignées des centres urbains, l'entreprise minière est le principal fournisseur économique de la région en procurant de l'emploi, des revenus et des services aux habitants autochtones (M. Z. Coulibaly, 2025: 3). Le Mali dispose d'importantes réserves aurifères dont l'exploitation joue un rôle crucial dans l'économie (I. Ouattara et al. 2021, p.8). L'or est le premier produit d'exportation du Mali depuis 1999, date à laquelle il a

dépassé le coton. En 2021, on comptait 339 sites de recherche en cours de validité dans le pays, 14 autorisations d'exploration ont été approuvées. Si la production d'or représentait moins de 10% du produit intérieur brut en 2021, elle compte pour presque un quart du revenu de l'État (564,5 milliards de francs CFA) soit environ 920 millions de dollars et 70% des exportations du pays (Rapport annuel sur la production aurifère, 2022: 17). Les mines industrielles peuvent avoir des impacts directs non seulement sur l'eau mais aussi sur les sols, la faune et la flore. Suite aux plaintes répétées des populations locales, il nous semble nécessaire de savoir, si les eaux à Sanso sont polluées ? Si le régime hydrographique a baissé ? Et si les sols sont mal menés par les exploitations ? L'objectif de cet article est d'analyser les retentissements potentiels de la mine de Morila sur les ressources environnementales de la zone.

1. Matériels et méthodes

La conduite d'une recherche sur les retentissements sur l'environnement du site minier aurifère à Sanso nécessite une méthodologie rigoureuse et des outils appropriés pour garantir une collecte de données précises et fiables. En effet, il a été mené une analyse documentaire dans un premier temps. Des visites de terrain, des entretiens, des analyses d'échantillons au laboratoire et le traitement des images satellitaires ont été réalisés. Dans ce cadre des entretiens semi-directifs ont été menés avec une diversité d'acteurs engagés dans les activités minières au Mali, notamment la direction environnementale de la mine (1), les ONG, les communautés locales (50) et les autres agents (40) de la mine de Morila.

Pour la population locale estimée en 2022 à 26100 habitants selon la mairie de la commune de Sanso dont relève Morila, nous avons appliqué la formule $n = (z^2 * p * (1-p)) / (e^2)$ pour les plus 18 ans à l'implantation de la mine en 2000 soit plus de 44 ans. Ce choix fait suite au témoignage crédible et l'esprit de discernement adulte $n = (1.96^2 * 0.3 * (1-0.3)) / (0.05^2) \approx 176$

- **n** est la taille de l'échantillon
- **z** est le niveau de confiance (exprimé en écart-type)
- **p** est la proportion de la population cible estimée possédant les caractéristiques recherchées
- **(1-p)** est la proportion de la population cible estimée ne possédant pas les caractéristiques recherchées
- **e** est la marge d'erreur maximale souhaitée

En tenant compte des décès, migrations et autres, nous sommes allés sur la base des (63) enquêtés sur le terrain en adoptant l'effet boule de neige, (51) personnes ont bien voulu répondre

à notre questionnaire. Ces entretiens ont permis de recueillir des données quantitatives (impacts négatives et actions de restaurations) sur l'environnement qui sont liés aux activités de la mine. En complément des entretiens, des enquêtes structurées ont été menées auprès des populations locales vivant à proximité des sites miniers concernés.

En plus, des observations directes sur le terrain ont été réalisées pour évaluer la situation actuelle des sites miniers. Souvent les populations enquêtées sont dans la passion ce qui nous a poussés à procéder à des analyses d'échantillons d'eaux et de cartographies dynamiques qui suivent.

La collecte de données d'échantillons d'eaux analysées pour l'évaluation des impacts de l'exploitation minière sur leur qualité dans cet article exige une approche multidisciplinaire, utilisant des sources d'informations variées et complémentaires. Les observations directes ont permis de collecter des données qualitatives sur la qualité des eaux, notamment la turbidité et le goût, ainsi que sur les éventuels problèmes de pollution causés par les activités minières. Les mesures de sécurité ont été respectées à travers l'utilisation des flacons de verre borosilicaté, aussi les coordonnées GPS des points de prélèvement ont été enregistrées. La collecte et l'analyse d'échantillons d'eau prélevés dans les rivières, lacs et eaux souterraines à proximité des sites miniers ont fourni des données directes sur la qualité de l'eau et la présence de contaminants.

Plusieurs sources de données ont été mises à profit dans le cadre de cet article. Il s'agit des données satellitaires de Landsat collectées via Earth explorer ([en ligne] <https://earthexplorer.usgs.gov/>) sur le site web de United States Geological Survey. Pour les besoins de l'étude, des images de 1990, 2000, 2010 et 2020 ont été utilisées dans la perspective de mieux appréhender les changements intervenus dans le temps et dans l'espace. Les scènes retenues ont été prises entre le mois d'octobre et décembre, période correspondante à un faible taux de couverture nuageuse et avec une bonne expression de la végétation liée à la fin récente de la saison pluvieuse (Y.Y. Karembé, 2018 : 26). Les données de Landsat utilisées dans le cadre de cette étude sont présentées dans le tableau.1.

Tableau 1: Caractéristiques des images landsat utilisées

Types	Format	Résolution	Date d'acquisition	Source
Landsat 4-5 (TM)	TIFF	30 m	11/10/1990	GLCF
Landsat 7 (ETM+)	TIFF	30 m	11/10/2000	GLCF
Landsat 5 (TM)	TIFF	30 m	11/10/2010	GLCF
Landsat 8 (OLI)	TIFF	30 m	11/10/2020	GLCF

Source : B. Coulibaly 2024

La classification de la dynamique hydrographique à l'aide d'images satellites peut être considérée comme une combinaison entre le traitement d'image numérique et les techniques de classification pour analyser la dynamique hydrographique (B.A. Dembélé, 2019 : 46). Le traitement des images est réalisé pour l'amélioration de la qualité de celle-ci, tandis que la classification est un processus d'attribution des pixels d'une image à des classes de dynamique hydrographique (R.G. Pontius, 2000 : 9).

Le traitement et l'analyse de la composition colorée pour cartographier et suivre des objets géographiques requièrent l'emploi de techniques de traitement d'image. Plus particulièrement, on passe des données brutes ensembles de pixels à des données plus structurées appelées objets ou régions (B. Coulibaly, 2021 : 28). Ces régions sont définies comme l'ensemble de pixels voisins formant des ensembles homogènes au sens d'un certain critère (même couleur, réponse spectrale, type dynamique hydrographique, etc.).

Après la classification des images, la méthode supervisée a été utilisée lors de ce travail. Cette méthode permet au logiciel de rassembler tous les pixels qui ont les mêmes réflectances à travers un échantillonnage déterminé par l'utilisateur.

Les signatures spectrales de ces surfaces serviront comme références pour classer l'ensemble de l'image en utilisant des algorithmes de classification appropriés (P. G. Gbetkom, 2020 : 34). La classification supervisée est basée sur l'idée que l'utilisateur peut définir les pixels d'échantillon de chaque catégorie sur une image. Ces échantillons sont considérés comme les pixels de références pour la classification de tous les autres pixels de l'image (J. Oloukoi, 2012 : 18).

Pour ce travail, l'algorithme du maximum de vraisemblance est mis en évidence.

L'algorithme maximum de vraisemblance (MV) est basé sur la théorie des probabilités bayésiennes. Il est l'un des algorithmes les plus utilisés pour la classification supervisée (D. Traoré, 2019 : 39). L'opération de vectorisation de la classification permet une manipulation plus facile de la couche dynamique hydrographique. En effet, suite à cette opération, le raster est converti en vecteur et exporté vers le logiciel SIG les opérations de post-traitement (correction des débordements entre les objets, calcul des superficies des classes d'occupation etc.)

Toute classification d'images satellitaires, sans une réelle vérification sur le terrain, manque de véracité (R.G. Pontius, 2000 : 9). Ainsi, en plus de la matrice de confusion qu'offre le logiciel ENVI, une phase de vérité terrain a été faite. Lors de l'enquête sur le terrain, un échantillon de

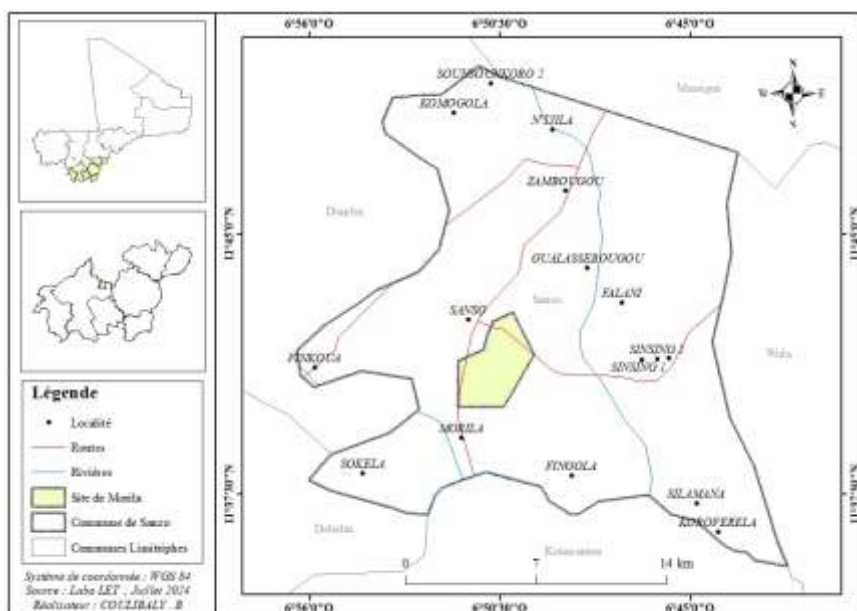
10 points de chaque classe d'occupation est calculé et intégré dans le GPS de type Garmin 64 pour la vérification. Pour ce faire, l'image de référence a été celle de 2020.

2. Résultats et discussions

2.1. Présentation de la zone d'étude

Sanso commune où est localisée la mine de Morila, est située à 310 kilomètres au sud-est de Bamako, latitude ($11^{\circ}43'00''N$) et longitude ($-6^{\circ}51'00''W$), avec une population estimée en 2022 à environ 26.100 habitants selon la municipalité. Elle dépend administrativement de la région de Bougouni et est constituée de 16 villages. L'activité principale avant l'implantation de la mine était l'agriculture. Actuellement, c'est toujours l'agriculture et le commerce qui prédominent les activités.

Figure 1: Localisation du site minier de Morila dans la commune de Sanso



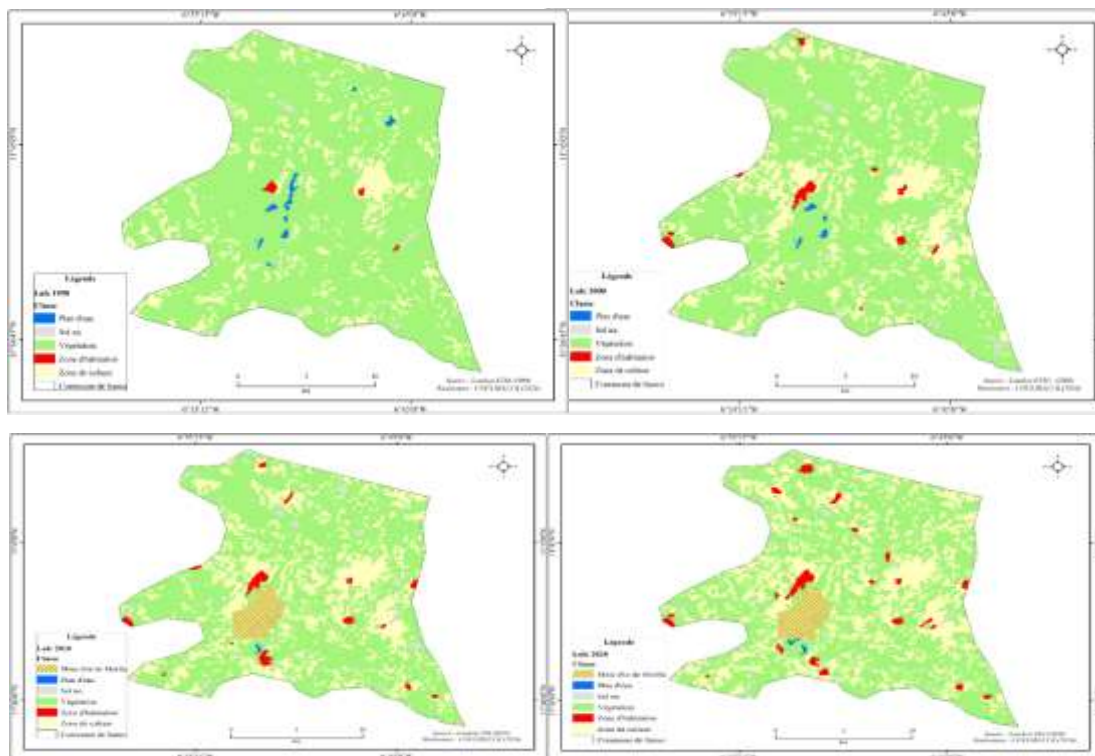
Source : B. Coulibaly 2024

Il est important de traiter dans cette partie, la dynamique hydrographique dans l'aire d'étude, les ressentis des populations et les mesures de réhabilitation posées.

2.2. Dynamique Hydrographique de la commune rurale de Sanso entre 1990 et 2020

Les données cartographiques se révèlent précieuses pour cette étude, car elles permettent une comparaison des fluctuations.

Figure 2: Situation hydrographique et d'occupation des sols dans la commune de Sanso de 1990 à 2020



Source : B. Coulibaly, 2024

Données relatives aux images de 1990 à 2020 de la commune de Sanso, comprenant des informations spécifiques telles que le plan d'eau, les sols nus, la végétation et les zones de culture afin d'améliorer l'approche de l'étude.

Tableau2 : Dynamiques d'occupation des sols à Sanso de 1990 à 2020

N°)	Classe	Lulc 1990		Lulc 2000		Lulc 2010		Lulc 2020	
		Sup km²	P%	Sup km²	P%	Sup km²	P%	Sup km²	P%
1	Mine d'or de Morila	0	0.00	0	0.00	12.77	3.26	12.77	3.26
2	Plan d'eau	2.07	0.53	0.84	0.21	0.24	0.06	0.48	0.12
3	Sol nu	3.44	0.88	4.75	1.21	7.43	1.90	5.43	1.39
4	Végétation	335.72	85.75	298.69	76.29	261.51	66.79	241.53	61.69
5	Zone d'habitation	0.94	0.24	3.51	0.90	5.37	1.37	7.92	2.02
6	Zone de culture	49.34	12.60	83.73	21.39	104.21	26.62	123.39	31.51
Total		391.52	100.00	391.52	100.00	391.52	100.00	391.52	100.00

Source : Statistique des traitements des images Landsat 1990 et 2020

L'analyse des données sur la dynamique hydrographique et d'occupation des sols dans la zone de Morila de 1990 à 2020 a montré plusieurs tendances. La mine d'or de Morila a été clairement visible dans les données à partir de 2010, occupant une superficie de 12,77 km² et maintenue à un niveau constant de 3,26 % jusqu'en 2020. Les plans d'eau ont connu une diminution

constante de la superficie entre 1990 et 2020, passant de 2.07 km² à 0.48 km² soit de 0.53% à 0.12%. On observe une croissance continue des zones résidentielles, qui sont passées de 0,94 km² en 1990 à 7,92 km² en 2020. Ce phénomène pourrait être attribuable à l'expansion urbaine, l'accroissement démographique et les changements climatiques. Aussi la mine consomme environ 420 000m³/mois d'eau soit environ 14 000m³/jour, ce qui correspond à la consommation de 60 000 personnes en considérant une moyenne de 150L par personne par jour. Cette analyse met en évidence l'usage des eaux à Morila. Aussi, la végétation dominait en 1990, couvrant 335,72 km² ou 85,75% de l'ensemble de la zone. Cependant, au fil des ans, une diminution progressive de la végétation de la région a été observée, car en 2020, elle couvrait 241,53 km², ce qui signifiait une baisse de 24,06% par rapport au début de la période. Parallèlement, la zone de culture a augmenté et a représenté 49,34 km² ou 12,60% de la zone totale en 1990 et 123,39 km² ou 31,51% en 2020. Cette tendance témoigne de la croissance agricole.

Photo 1 : Mine à ciel ouvert de Morila



Source : M. F. Bocoum, mine d'or de Morila, Août 2022

La mine d'or de Morila s'est engagée par écrit dans la protection de l'environnement à travers ses politiques. Elle est également certifiée OSHAS 18001 (Santé, hygiène et sécurité au travail).

Tableau 2: Appréhension des populations sur les effets de l'exploitation minière sur l'environnement

Environnement	OUI	P%	NON	P%
Qualité et quantité eau	42	82,35%	9	17,65%
Qualité air	37	72,55%	14	27,45%
Qualité sol	46	90,2%	5	9,8%
Quantité végétation	47	92,16%	4	7,84%
Quantité faune	38	74,51%	13	25,49%

Source : M. F Bocoum, 2024

82,35% des enquêtés ont laissé libre cours à leurs pensées sans langue de bois, en exprimant leurs inquiétudes sur les dommages que la mine aurait potentiellement causés sur l'eau.

La qualité et la quantité des eaux sont altérées par la mine ce qui serait selon les populations à l'origine de la diminution des ressources halieutiques. La qualité du sol est aussi altérée par la diminution de sa fertilité causée par la déforestation et les résidus miniers pour 90,2% de nos cibles. Selon 92,16% des enquêtés il y a eu dégradation de la végétation naturelle et déboisement même si beaucoup de terrains ont été revégétalisés. La contamination des sols et des eaux souterraines est un problème environnemental majeur.

Les populations ont fait état de leurs plaintes auprès des autorités suite au cas de maladies respiratoires, d'IST de fausses couches et d'avortements qui seraient imputables à la contamination des eaux dont le gout serait acide. Il était souhaitable de synthétiser les 2 tableaux dessous mais chacun des sites de prélèvements présentent des inconformités aux normes.

Tableau 4 : Résultats des analyses des métaux au Laboratoire 2021

Code Morila	N°Labo	Cr ug/L	Mn55 ug/L	Fe... ug/L	Co ug/L	Ni ug/L	Cu ug/L	Zn ug/L	As ug/L	Mo ug/L	Ag1 ug/L	Cd ug/L	Sb ug/L	Hg ug/L	Pb ug/L
SW13	394 C22	2,6415	3,4508	1,3964	0,0819	0,5016	0,9698	4,0395912 1	6,0924	-0,1510	0,0384	2,8979	0,1188	0,7080	0,4041
Sanso Puits trad Youssof Mariko	395 C22	3,3154	3,6945	2,5769	1,7965	2,2182	1,2488	5,5000	6,7343	0,3064	0,0659	3,1224	0,1983	0,8125	0,5137
Marigot Diaroutou	396 C22	3,6040	3,7170	1,9034	0,5401	1,1102	1,0497	6,7600	7,4168	0,2918	0,0626	3,3730	0,2096	0,7587	0,3835
jardin Bouriema Maroko puits trad N°1	397 C22	4,0023	4,0111	2,1714	0,6397	1,3894	1,3569	8,6000	7,7880	0,7960	0,0990	3,5946	0,2844	0,9051	0,5411
jardin Bouriema Maroko puits trad N°2	398 C22	2,3758	2,4345	68,6401	1,8639	5,6588	44,4556	80,3400	9,4403	0,3916	0,0240	1,0364	0,5060	1,5391	1,0205
Verge soma Mariko puit trad	399 C22	2,0771	0,7466	20,7038	2,9133	10,9708	36,6554	74,0000	8,7389	0,1072	0,0385	0,9771	0,5989	1,7929	1,0719
puits trad N°1 Bamoussa Sidibé	400 C22	1,8156	0,7712	23,4670	0,7916	4,7133	15,6789	37,2500	8,0778	0,5829	0,0201	0,8108	0,5814	1,1017	0,6678
puits trad N°2 Bamoussa Sidibé	401 C22	1,8081	0,6177	18,2404	3,4554	21,0648	28,1528	123,8500	7,8215	2,8208	0,1411	0,7730	0,6676	1,1946	0,8219
forage à PMH N°868	402 C22	1,6887	0,4307	12,3569	2,6317	8,7439	35,5685	70,2300	7,6080	0,1241	0,0287	0,7282	0,6314	0,7993	0,3835
Cht Morila	403 C22	2,2400	4,8584	23,7726	5,5910	46,5354	4,4651	10,5100	2,9819	43,4579	0,0058	1,7821	11,9841	0,3527	0,1747
Abou Togola puit trad N°1	404 C22	1,9900	1,9836	58,4315	0,9764	2,8234	15,5213	40,0800	3,7911	0,9998	0,0174	2,1952	0,3766	0,6723	0,5000
Nerekoro pont	405 C22	1,5100	0,2305	7,6497	0,7260	9,4451	12,4460	32,8600	3,8168	19,8846	0,0096	1,7415	0,2142	0,3667	0,2226
puits trad N°1 berge pont nerekoro	406 C22	1,3300	5,5087	8,1079	2,7581	11,2042	15,2312	31,1200	3,7799	10,9249	0,0097	1,5360	0,2382	0,3514	0,1713
puits N°2 à grd diam (jardin) nerekoro	407 C22	1,4200	5,0598	4,2675	0,6639	4,0906	27,1141	60,8800	3,7437	1,1232	0,0150	1,4451	0,3823	0,5359	0,3151
puits N°3 à grd diam (jardin) nerekoro	408 C22	1,4400	0,1682	4,8942	0,7026	2,9794	24,3043	54,7400	3,7632	2,5133	0,0178	1,3388	0,3553	0,5412	0,3527
forage à PMH maternité	409 C22	1,1300	4,9983	4,3276	0,8062	4,2084	17,3708	41,3600	3,8355	1,7821	0,0148	1,2444	0,4722	0,3831	0,2946
Koroferela forage à PMH N°2	410 C22	1,0000	4,9935	3,3683	0,5089	1,9433	24,4123	44,0000	3,8706	0,8005	0,0153	1,2051	0,2910	0,3709	0,1644
Koroferela forage à PMH N°3	411 C22	1,5300	5,0444	3,8131	1,0183	2,8888	11,7891	25,7700	3,9221	2,3053	0,0163	1,1310	0,2727	0,3091	0,1130
forage à PMH école	412 C22	4,8800	5,3525	6,2961	0,4399	7,0307	6,8325	20,2600	3,1150	0,0842	0,0610	3,8979	0,2593	0,3920	0,2191
forage à PMH N°1	413 C22	4,1500	1,1833	36,0357	0,6873	5,5552	6,5394	17,3500	3,2189	0,3121	0,0237	3,6294	0,3334	0,9678	0,9110
forage à PMH N°2	414 C22	2,7700	4,0805	4,0156	0,5760	4,0306	14,0652	21,6100	3,2296	0,7992	0,0111	3,6179	0,2353	0,5760	0,4898
Puits trad N°1	415 C22	2,3900	0,3115	8,2084	0,4271	1,8081	9,8049	22,4900	3,2517	-0,4166	0,0157	3,5683	0,1621	0,5189	0,3630
forage à PMH école	416 C22	1,9700	0,3328	8,8810	0,3490	2,6489	6,5088	18,1600	3,2739	-0,3901	0,0147	3,2650	0,1506	0,4224	0,2021
Tinakoloba Puits trad N°3	417 C22	2,1900	0,3191	8,0492	0,385 6	1,4755	10,8258	18,8500	3,3226	-0,3194	0,027 6	3,0979	0,2918	0,992 0	0,8630
forage à PMH maternité	418 C22	1,5300	3,8712	3,4670	0,946 8	3,0535	10,2191	37,8100	3,3249	-0,1650	0,017 9	2,8006	0,2580	0,444 9	0,2705
Forage à PMH école	419 C22	1,4000	4,1345	3,4911	0,510 4	2,4984	15,5099	38,9100	3,3589	0,1923	0,021 0	2,5871	0,2130	0,353 1	0,1336
forage à PMH N°1	420 C22	2,1000	3,9754	3,0459	0,346 3	2,1669	18,0206	43,5900	3,3248	-0,2714	0,014 0	2,9750	0,2606	0,729 4	0,6952
forage à PMH N°1	421 C22	0,8900	5,9279	6,6875	0,776 5	10,0286	15,1943	46,0400	3,9072	5,3161	0,023 5	1,0726	0,2387	0,238 6	0,2466

forage à PMH N°2	422 C22	0,3300	5,5946	6,2175	1,864 6	8,6131	30,8542	70,7700	3,7728	1,4557	0,017 1	0,9679	0,2532	0,362 0	0,2740
forage à PMH maternité	423 C22	0,4800	0,2082	6,1518	1,783 6	7,0743	9,9442	24,3200	3,7641	0,7619	0,058 6	0,8181	0,3953	0,451 5	0,3082
forage à PMH école	424 C22	1,6522	5,6853	6,0758	1,649 1	8,0591	16,3635	40,9500	3,7663	0,8989	0,014 5	0,7137	0,3724	0,516 9	0,5617
forage à PMH N°1	425 C22	1,5256	5,5436	5,1992	0,950 0	6,5040	5,9559	22,6600	3,8132	0,8983	0,012 8	0,6750	0,2601	0,391 5	0,3493
puits à grd diam N°2 (jardin)	426 C22	1,8260	0,8741	26,705 3	1,811 6	18,3930	13,1588	32,4900	3,8909	4,5799	0,005 7	0,7572	0,2996	0,383 4	0,3288
puits à grd diam N°4 (jardin)	427 C22	1,6523	0,3489	11,375 2	1,371 7	18,5271	10,0976	40,2500	3,9337	2,5573	0,009 8	0,8361	0,2901	0,395 6	0,2294
puits trad N°1	428 C22	1,6247	0,7896	25,638 3	0,655 1	7,1278	6,9155	21,4100	4,0245	2,1107	0,012 0	0,7929	0,2147	0,446 4	0,3424
forage à PMH N°2	429 C22	1,4743	0,1996	6,2814	0,514 0	8,0089	8,4069	21,8200	4,0630	8,3199	0,010 7	0,6690	0,2413	0,344 3	0,2740
Marigot	430 C22	1,7662	2,3993	75,489 6	13,44 30	150,755 7	5,0563	7,3100	3,7801	162,0167	0,003 7	0,3325	25,5071	0,343 6	0,2877
forage à PMH école	431 C22	2,0285	5,8312	8,6272	0,693 4	14,4442	5,1849	9,2400	3,7516	8,8350	0,010 5	1,1004	0,2677	0,306 7	0,2946
forage à PMH mosquée	432 C22	1,6907	5,4006	6,5980	1,167 8	10,0907	5,9517	15,0100	3,6233	2,0069	0,010 2	0,8548	0,3209	0,300 6	0,2568
Puits trad Harouna togola	433 C22	1,7241	0,2269	6,7412	0,655 7	5,2640	9,5013	30,8100	3,5686	0,5247	0,007 6	0,7702	0,1699	0,531 3	0,1678
Puits trad zoumana Diarra	434 C22	1,8777	0,2392	6,3317	0,576 9	3,3000	11,6039	27,3800	3,5606	0,2877	0,008 1	0,7920	0,1481	0,575 3	0,4452
Pont (koba)	435 C22	2,1388	4,3975	4,6745	5,064 3	3,7499	5,0600	5,3936	5,6016	3,7280	2,171 9	4,1812	5,2613	0,429 6	7,4906
Puits trad Sekou togola	436 C22	2,1596	4,8062	4,8362	5,297 1	4,4942	4,7438	5,0971	5,5660	3,6103	2,332 8	4,4290	3,1185	0,427 1	1,2547
forage à PMH	437 C22	2,2700	5,1044	4,9867	5,651 5	4,7326	5,0240	5,5011	5,5690	3,5916	2,404 7	4,5739	2,8572	0,462 9	0,9363
Puits trad jardin	438 C22	2,3332	5,3425	5,1591	5,293 6	4,6659	5,3924	5,2705	5,6097	3,5459	2,087 2	4,2834	3,3798	0,429 0	3,7453
Marigot	439 C22	2,2380	4,2838	4,4580	5,177 2	4,0743	5,0201	5,3017	5,8713	3,4738	2,074 5	4,1170	5,6094	0,393 9	0,9363
forage à PMH N°2 kiniereta	440 C22	2,2435	3,9131	4,0901	4,560 5	3,9025	4,6198	5,3364	6,1443	2,8011	2,256 6	4,5735	2,8394	0,380 4	5,6180

Source : LNE, 2023

Le Cadmium (Cd) dépasse les normes de l'OMS 3 µg/L sur 12 sites notamment (Sanso Puits trad Youssouf Mariko (3,12 µg/L), Marigot Diaratou (3,37 µg/L), jardin Bouriema Maroko puits trad N°1 (3,59 µg/L), forage à PMH école (412 C22) (3,90 µg/L), forage à PMH N°1 (413 C22) (3,63 µg/L), forage à PMH N°2 (414 C22) (3,62 µg/L), Puits trad N°1 (415 C22) (3,57 µg/L), forage à PMH école (416 C22) (3,26 µg/L), Tinakoloba Puits trad N°3 (3,10 µg/L), Pont (koba) (4,18 µg/L), Puits trad Sekou togola (4,43 µg/L), forage à PMH (437 C22) (4,57 µg/L), Puits trad jardin (4,28 µg/L), Marigot (439 C22) (4,12 µg/L), forage à PMH N°2 kiniereta (4,57 µg/L). Il faut noter que le Cadmium est un métal lourd toxique, cancérigène, qui peut causer des lésions rénales et osseuses à long terme, même à de faibles concentrations.

La contamination est multiple au site Marigot (430 C22) avec le Nickel (Ni) : 150,76 µg/L (bien au-delà de la norme de 70 µg/L). Le Molybdène (Mo) : 162,02 µg/L (bien au-delà de la norme de 70 µg/L). Enfin l'Antimoine (Sb) : 25,51 µg/L (aussi au-delà de la norme de 20 µg/L). L'eau de ce site est clairement impropre à la consommation et présente des risques sanitaires graves.

Le site jardin Bouriema Maroko puits trad N°2 a une concentration d'Arsenic (As) de **9,44 µg/L**, ce qui est **très proche de la limite de 10 µg/L**, grande vigilance conseillée.

Tableau 5 : Paramètres in situ des eaux des forages

Points de prélèvement	N°Labo	pH	Cond	TDS	T°C	CN	As	E.Coli	CT	CF
		-	µS/cm	mg/L	-	mg/L	mg/L			
MORILA VILLAGE										
forage à PMH N°868	401C	6,33	184,5	184	29,8	0,056	0,000	0	>100	0
Cht Morila	-	6,56	139,5	139	30,7	0,028	0,001	0	10	0
KOROFERELA								0		
forage à PMH maternité	407C	6,02	159,6	159	30,9	0,001	0,000	0	0	0
Koroferala forage à PMH N°2	408C	6,03	140,5	140	30,7	0,004	0,000	0	1	0
Koroferala forage à PMH N°3	409C	6,39	195,6	195	30	0,027	0,000	0	15	0
KENIERELA										
forage à PMH école	410C	7,35	96,5	96	30,7	0,036	0,000	0	100	10
forage à PMH N°1	411C	6,98	147,3	147	30,8	0,026	0,005	0	5	0
SIOLA								0		
forage à PMH école	414C	6,82	185,3	184	30	0,043	0,040	0	36	2
TINAKOLOB										
forage à PMH maternité	418C	6,85	128,5	128	30,5	0,035	0,000	0	1	0
Forage à PMH école	419C	7,40	124,8	124	30,5	0,033	0,000	0	6	0
forage à PMH N°1	420C	7,55	114,7	114	30,4	0,027	0,000	0	5	0
MOTOLA										
forage à PMH N°1	421C	7,40	211	211	30,5	0,029	0,043	0	70	1
forage à PMH N°2	422C	7,25	196,7	196	30,6	0,006	0,000	0	>100	10
SILAMANA								0		
forage à PMH maternité	423C	6,89	232,8	232	30,4	0,028	0,000	0	100	3
forage à PMH école	424C	7,05	186,9	186	30,5	0,025	0,000	0	0	0
forage à PMH N°1	425C	7,25	164,1	163	30,4	0,030	0,000	0	2	0
forage à PMH N°2	429C	8,05	237,8	237	28,8	0,023	0,000	0	3	0
TOUNFOGA										
forage à PMH école	431C	6,54	353,5	353	31,1	0,033	0,000	0	3	2
forage à PMH mosquée	432C	6,56	261,5	261	29,9	0,004	0,000	0	4	0
BONTOLA										
forage à PMH	437C	6,82	372,5	371	29,8	0,029	0,005	0	1	1
forage à PMH N°2 kinierela	440C	7,55	154,5	154	30,7	0,030	0,038	0	1	0
Norme Malienne		5,5≤pH≤9	≤1500	≤30	-	≤0,07	≤0,01	0	0/100mL	0/100mL

Source : LNE, 2023

La contamination bactériologique généralisée est la préoccupation la plus urgente et la plus répandue. À l'exception du forage à PMH maternité (407C) et forage à PMH école (424C), tous les autres sites présentent une contamination par les Coliformes Totaux (CT). Encore, plusieurs sites montrent des Coliformes Fécaux (CF) ou des valeurs très élevées de CT (par exemple, forage à PMH école (410C) avec 10 CF, forage à PMH N°2 (422C) avec 10 CF, forage à PMH maternité (423C) avec 3 CF, forage à PMH école (431C) avec 2 CF, forage à PMH (437C) avec 1 CF). La présence de Coliformes Fécaux indique une contamination fécale, posant un risque

immédiat et très élevé de maladies hydriques (diarrhée, choléra, typhoïde, etc.) pour les consommateurs. L'eau de ces sources n'est pas potable.

Le forage à PMH N°2 kinierela (N°Labo 440C) **0,038 mg/L** et (N°Labo 414C) (0,040 mg/L) présentent des valeurs **quatre fois** au-dessus de la norme OMS **0,01 mg/L**. C'est une menace sérieuse pour la santé à long terme, étant donné la toxicité et le caractère cancérigène de l'Arsenic.

Tableau 6 : Paramètres in situ des eaux des puits

Points de prélèvement	N°Labo	pH	Cond	T°C	CN	As	TDS
		-	µS/cm	-	mg/L	mg/L	mg/L
SANSO							
Sanso Puits trad Youssouf Mariko	395C	4,94	645,8	29,3	0,004	0,000	645
MORILA VILLAGE							
jardin Bourima Maroko puits trad N°1	397C	5,19	328	27,8	0,055	0,005	337
jardin Bourima Maroko puits trad N°2	398C	5,30	32	24,2	0,027	0,000	33
Verge soma Mariko puit trad	PAS D'EAU	-	-	-	-	-	-
puits trad N°1 Bamoussa Sidibé	399C	6,10	68,5	29,3	0,009	0,000	67
puits trad N°2 Bamoussa Sidibé	400C	5,49	34,7	27,2	0,008	0,000	34
N°PIEBOUGOU							
Abou Togola puit trad N°1	402C	6,13	67,2	28	0,013	0,004	67
Nerekoro							
puits trad N°1 berge pont nerekoro	404C	5,9	108,4	27,7	0,013	0,000	108
puits N°2 à grd diam (jardin) nerekoro	405C	6,69	297	27,7	0,035	0,000	286
puits N°3 à grd diam (jardin) nerekoro	406C	7,04	262	28,8	0,045	0,000	255
KENIERELA							
Puits trad N°1	412C	6,89	160,4		0,025	0,000	159
TINAKOLOBA							
Puits trad N°1	415C	7,45	71,1	28,8	0,040	0,003	70
Puits trad N°2	416C	7,25	94,5	29,2	0,036	0,001	94
Tinakoloba Puits trad N°3	417C	6,95	44,7	29,5	0,041	0,003	44
SILAMANA							
puits à grd diam N°2 (jardin)	426C	6,89	160,4		0,019	0,005	159
puits à grd diam N°4 (jardin)	427C	6,52	170,5	28,7	0,042	0,002	170
puits trad N°1	428C	6,82	185,3	30	0,030	0,004	184
TOUNFOGA							
Puits trad Harouna togola	433C	6,95	44,7	29,5	0,042	0,000	44
Puits trad zoumana Diarra	434C	6,33	120,5	434C	0,088	0,000	120
BONTOLA							
Puits trad Sekou togola	436C	6,42	244	30,1	0,028	0,000	243
Puits trad jardin	438C	6,64	274	27,6	0,116	0,090	271
Norme Malienne		5,5≤pH≤9	≤1500		≤0,07	≤0,01	≤30

Source : LNE, 2023

Le pH est plutôt acide comparativement à la norme malienne de 5,5 notamment sur le site (Sanso Puits trad Youssouf Mariko (4,94), jardin Boureima Maroko puits trad N°1 (5,19), jardin

Boureima Maroko puits trad N°2 (5,30), puits trad N°2 Bamoussa Sidibé (5,49). Il est important de savoir qu'un pH trop acide peut affecter le goût de l'eau, mais plus important, il peut augmenter la corrosion des canalisations et le lessivage des métaux des matériaux en contact avec l'eau (plomb, cuivre, etc.), même si ces métaux ne sont pas présents dans la source d'origine.

Les Solides Dissous Totaux (TDS) oscillent entre 33 mg/L à 645 mg/L connaissant un dépassement généralisé par rapport à la norme qui est de 30 mg/L.

L'Arsenic (As) est aussi présent en quantité dangereuse sur le site Puits trad jardin" (438C) (0,090 mg/L) excédant la norme 0,01 mg/L.

Pire le Cyanure (CN) connaît un dépassement sur le site Puits trad zoumana Diarra (434C) (0,088), Puits trad jardin (438C) (0,116 mg/L) tandis que la norme OMS est de 0,07 mg/L. Ces résultats doivent interpeler urgemment les autorités pour une meilleure approche concernant les ressources en eau par extension l'environnement.

3. Discussion

Dans le cadre de l'étude des impacts de la mine de Morila sur l'eau, les enseignements tirés des expériences similaires à travers le monde sont essentiels pour orienter les analyses. Cette discussion examine des cas de réussites et d'échecs de la préservation de l'environnement. Si à Morila on consomme environ 420 000m³/mois d'eau soit 14 000m³/jour, ce qui correspond à la consommation de 60 000 personnes en considérant une moyenne de 150L par personne par jour. Par exemple, la mine de **Cerro Verde au Pérou** (Matthew Parizot, 2018: 36) à vue la mise en place d'une usine de traitement des eaux usées municipales permettant de traiter 85% des égouts d'Arequipa. Cette initiative a non seulement fourni de l'eau pour les opérations de la mine sur 1,8m³ d'eaux usées traitées par seconde, mais a également amélioré la qualité de l'eau pour la communauté locale. L'échec de la mine d'Ok **Tedi** en Papouasie-Nouvelle-Guinée illustre les conséquences d'une gestion inadéquate, avec une dispersion massive des contaminants dans les écosystèmes aquatiques (J. Hettler, G. Irion et B. Lehmann, 1997: 280-291). Pire dans la mine de SAMARCO au Brésil en 2015 où a été documenté un désastre écologique avec l'effondrement d'un barrage de résidu toxique (Barbot, J. et AL, 2016: 2). À Morila, des infrastructures comme des bassins de rétention (1 à 3 millions de m³) et des canaux (10 à 20 km) seront indispensables. Si la mine de Tsumeb en Namibie a connu un déboire écologique suite à une contamination des cours d'eaux aux métaux lourds (cuivre, arsenic, plomb, etc.). Malgré les efforts de réhabilitations les effets persistent (La mine de Tsumeb et ses minéraux, 2017: 7-13). Cette situation doit interpeler la mine de Morila et les autorités car

malgré les efforts, quelques cas de non-conformités sont détectés dans la zone minière ce qui pourrait engendrer une situation dangereuse.

Par ailleurs la mine de Morila a mis en place des stations de traitement des eaux qui sont capables de traiter 1000 à 1500 m³/jour à l'instar de la mine de Britannia Beach au Canada. Cette mine est un symbole dans le domaine de traitement d'eaux, car à son apogée la mine avait pollué des dizaines d'hectares en 1970. Sans procrastiner les barrières de filtrations ont été mises en place et le traitement a permis de réduire la teneur des eaux en métaux lourds de 90% en 2008 (Rector, D., & Clarke, B. 2008 : 6-32).

Une belle expérience de reconversion fut faite au profit d'une ferme solaire ayant permis la production de 50 MW sur le site de la mine de Kidston en Australie. De même les fosses sont réutilisées dans la production d'énergie hydro-électrique pour une production de 250 MW. Ces productions alimentent 150 000 foyers et ont créé 500 emplois directs (Enviro2B, 2017: 44). Pendant que la mine de Morila prévoit rediriger ses productions énergétiques de 30MW dans l'agrobusiness. Cette réussite devrait servir d'exemple comme levier exutoire pour la grave crise énergétique du Mali.

Par ailleurs la réhabilitation des sols dans des contextes similaires montre que la conversion des terres en zones agricoles ou écosystèmes fonctionnels est un objectif fréquemment poursuivi. Par exemple, la mine de **Geita** en Tanzanie a consacré 600 hectares à la revégétalisation, aboutissant à une stabilisation des sols et une augmentation de la biodiversité locale (J. Hall, 2004 : 12). Cette approche pourrait inspirer la répartition prévue à Morila : 300 à 700 hectares pour la revégétalisation et 100 à 300 hectares pour des usages agricoles. En revanche, Y.U. Sikuzani et al., 2020 : 2 présentent un cas d'échec à cause de l'absence d'une planification adaptée au niveau de la mine de la ville de Lubumashi en RD Congo dans les zones où les sols sont fortement contaminés restent improductifs. Cela met en évidence la nécessité de choix judicieux des types d'usages et des approches de réhabilitation à Morila. Le reprofilage et la stabilisation des sols sont essentiels pour limiter l'érosion et préparer les terrains pour des usages futurs. Dans le cas de la mine de **Century** en Australie, 30 % de la superficie affectée a été stabilisée grâce à des techniques de reprofilage combinées à l'implantation de graminées locales. Le coût, estimé à environ 5 000 USD/ha, a été amorti par les résultats positifs à long terme (Mine Australia, 2023 : 52).

Cependant, l'échec de la mine de **Mount Polley** au Canada, où une mauvaise gestion des pentes a provoqué une rupture de digue et une érosion accrue (Mine Australia, 2023: 33), souligne l'importance d'une conception rigoureuse des ouvrages de stabilisation à Morila, en particulier

pour les zones critiques représentant environ 30 % de la superficie. L'ajout de matières organiques et de traitements chimiques est une pratique courante pour restaurer la fertilité des sols miniers. Par exemple, la mine de **South Crofty** au Royaume-Uni a utilisé de la chaux et des amendements organiques pour neutraliser l'acidité et améliorer la structure des sols. Les résultats montrent un pH stabilisé entre 6,5 et 7,0 (Cornwall Wildlife Trust), ce qui est conforme aux objectifs attendus à Morila (6,0 à 7,5). En revanche, l'expérience de la mine de **Berkeley** aux États-Unis met en garde contre l'insuffisance des amendements. Une application inadéquate a laissé les sols contaminés et inutilisables, soulignant l'importance de quantités optimales (par exemple, 20 à 30 tonnes/ha de compost) pour atteindre une amélioration durable (M. Z. Coulibaly, 2025 : 9). La revégétalisation constitue un pilier central de la réhabilitation. La mine de **Boddington** en Australie a atteint une couverture de 75 % grâce à l'implantation de 5 000 à 10 000 plants/ha, associés à une densité de 300 à 500 arbres/ha. Un taux de survie de 80 % a été observé après 3 ans, notamment grâce à un entretien continu (I. Ouattara et al., 2021 : 11).

Conclusion

La mine de Morila a indéniablement laissé une empreinte non négligeable dans la localité notamment en termes d'infrastructure de développement. Il est évident que l'activité minière a profondément chamboulé la structure physique et chimique des eaux et des sols et une intervention de réhabilitation serait nécessaire pour corriger les dommages causés. Les plans d'eau ont certes considérablement rétréci, hors-mi la pression qu'exerce la mine sur cette dernière, ce phénomène pourrait aussi être imputable aux changements climatiques et à la sécheresse que connaît notre pays. Aussi, les populations locales se plaignent de la turbidité de l'eau, son goût aigre ayant un impact direct sur les ressources halieutiques. De même pour leur part la qualité de cette eau serait à l'origine des pathologies gravidiques notamment. Par ailleurs les analyses nous édifient sur les teneurs au-dessus de l'OMS en métaux notamment l'Arsenic, Cadmium, Nickel, ... à certains points. Mais aussi le pH, les coliformes totaux et fécaux, le cyanure et la conductivité sont à des valeurs inquiétantes à d'autres. Aussi la déforestation a connu un grand bon malgré les activités de reboisement initiées par la mine. La faible couverture de la flore optimise les érosions et la fertilité des sols. Ceci nous interpelle sur l'urgence de cette situation. Il faut souligner que l'association des populations dans le processus préservation de l'intégrité des eaux est primordiale, car ce sont eux « les premiers concernés par les bienfaits de cette ressource et de son suivi », comme ils en témoignent. En faisant le choix de prioriser la santé des eaux et l'environnement, les compagnies minières vont non seulement réduire le coût de l'opération, mais également vont favoriser une meilleure

implication des populations locales. En effet, les ressources naturelles sont au cœur de tous les besoins des communautés la zone.

Références bibliographiques

BARBOT José Paulo Cosenza, RIBEIRO Cintia de Melo de Albuquerque, LEVY Ariel & DIOS Selma Alves, 2018, « CSR sensemaking applied to the facts related to the collapse of the Samarco tailings dam », *Revista de Contabilidade e Organizações*, 12, e151356, p. 2.

COULIBALY Bouramadiè, 2021, *Évaluation participative de l'évolution des unités paysagères dans la commune de Wassoulou-Ballé au Mali*, Mémoire de Master en Géomatique, FHG/USSGB, Mali, 96 p.

COULIBALY Modibo Zoumana, 2025, « Importances et Contraintes environnementales socio-économiques de l'exploitation minière au Mali : cas de la mine d'or de Morila S.A. dans la commune rurale de Sanso, cercle de Koumantou », *Revue Africaine des Sciences Sociales et de la Santé Publique*, Volume 7 (1), p. 36-54.

DEMBÉLÉ Aboubacrine Biki, 2019, *Détection des zones à potentiel agricole dans la commune rurale de Bougaribaya (cercle de Kita)*, Mémoire de Master en Géomatique, FHG/USSGB, Mali, 100 p.

HETTLER Joachim & al., 1997, « Environmental impact of mining waste disposal on a tropical lowland river system: a case study on the Ok Tedi Mine, Papua New Guinea », *Mineral. Deposita* 32, p. 280–291.

KAREMBÉ Yorombé dit Yoro, 2018, *Modélisation de l'impact de l'empreinte écologique et de la variabilité pluviométrique sur les galeries forestière dans le bassin Versant de la rivière Wassoulou-Ballé au Mali*, Thèse de Doctorat, Université Bayero Kano, Nigeria, 169 p.

OUATTARA & Al, 2021, « Environnement, économie locale et fermeture de la mine d'or de Morila, Mali », *Revue Hommes – Peuplements - Environnements*, n° 4, p. 24.

PARIZOT Mathieu, 2018, « Clear and Clean », *CIM Magazine*, p. 53.

PAUL Gérard Gbetkom, 2020, *Études des dynamiques spatiales d'évolution de l'occupation et de l'utilisation des sols dans la fenêtre lacustre camerounaise du lac Tchad...*, Thèse de doctorat, Aix Marseille University, 396 p.



PONTIUS Robert Gilmore Jr, 2000, « Quantification error versus location in comparison of categorical maps », *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 66, n° 8, p. 1011-1016.

RECTOR David, & CLARKE Brian, 2008, *Britannia Mine Water Treatment Plant: Compliance and Performance*, Ministry of Agriculture and Lands, British Columbia, p. 6-32.

TRAORÉ Djibril, 2019, *Dynamique de la structure paysagère des forêts classées autour de Bamako : cas de la Faya et de Monts Mandingues*, Mémoire de Master en Géomatique, FHG/USSGB, Mali, 83 p.