

Évaluation des impacts de l'exploitation artisanale de d'orpillage de Komabangou (Liptako, NIGER)

Auteur : Abdou Amadou, Sanoussi

Promoteur(s) : Hanson, Alain

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master de spécialisation en sciences et gestion de l'environnement dans les pays en développement

Année académique : 2019-2020

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/10102>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Uliège - Faculté des Sciences - Département des Sciences et Gestion de l'Environnement

UClouvain – Faculté des bioingénieurs

**Evaluation des impacts de l'exploitation artisanale de l'or sur le
site d'orpaillage de Komabangou (Liptako, NIGER)**

ABDOU AMADOU Sanoussi

**MEMOIRE REDIGE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER DE SPECIALISATION EN SCIENCES ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT DANS
LES PAYS EN DEVELOPPEMENT
MODULE EAU ET SOL**

ANNEE ACADEMIQUE 2019-2020

REDIGE SOUS LA DIRECTION DE : **HANSON Alain**, MDC Géologue-Environnementaliste

COMITE DE LECTURE :

- **ORBAN Philippe**, Docteur-Ingénieur, Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement
- **ROSILLON Francis**, Docteur en Sciences de l'Environnement, Chef de Travaux honoraire et MDC

Copyright

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique* de l'Université de Liège et de l'Université Catholique de Louvain.

*L'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant de l'Université de Liège et de l'Université Catholique de Louvain.

Le présent document n'engage que son auteur.

Auteur du présent document : **ABDOU AMADOU Sanoussi**, aasanoussi@hotmail.fr

DEDICACES

Je dédie le présent travail à :

Mon père **Abdou Amadou**, instituteur à la retraite ;

Ma mère **Aïchatou Mahaman** ;

Mais aussi à :

Ma femme **Zouératou Mahamadou Issaka**, médecin généraliste ;

Mes enfants **Ismaël** et **Fatima**.

REMERCIEMENTS

Louanges à Allah Seigneur de l'Univers qui par sa grâce m'a permis de boucler cette formation par le présent mémoire.

Qu'il me soit permis au terme de ce travail de fin d'étude et plus généralement au terme de cette formation, de remercier les personnes qui se sont investies de près ou de loin afin que les objectifs qui lui ont été assignés puissent être atteints.

Pour commencer, mes remerciements vont à l'ensemble du personnel de l'Université de Liège à travers le Professeur Bernard TYCHON, responsable du master de spécialisation en sciences et gestion de l'environnement dans les pays en développement pour l'accueil ainsi que la formation qui nous a été dispensée malgré les perturbations engendrées par le Covid-19.

Je tiens à remercier mon promoteur M. Alain HANSON, géologue-environnementaliste pour avoir accepté d'encadrer ce travail et se rendre disponible pour toutes les réunions virtuelles malgré ses multiples tâches académiques et professionnelles.

Je remercie MM. Philippe ORBAN, hydrogéologue et Francis ROSILLON, docteur en sciences de l'environnement pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Je remercie aussi M. Antoine DENIS, assistant du master de spécialisation en sciences et gestion de l'environnement dans les pays en développement pour ses conseils, son écoute et sa disponibilité qui ont permis d'enrichir ce travail.

Je remercie également Mme Fatoumata YAOU KORGOM, Directrice des Mines et Carrières au Ministère des Mines de la République du Niger pour l'appui et le soutien qu'elle avait apporté afin de rendre ce travail possible. Sa disponibilité ainsi que les informations qu'elle avait fournies ont facilité l'atteinte des objectifs assignés à ce travail.

Mes remerciements vont également à Dr Mahamane Sani OUSMANE, Maître Assistant chimie minérale à l'Université d'Agadez pour tous les efforts qu'il a fournis dans le cadre de la collecte des données.

Je remercie aussi M. Chapiou ABDOU qui a également apporté sa contribution dans la correction du présent document.

Je n'oublierai pas également la volonté du Fonds Elisabeth et Amélie d'octroyer un financement pour soutenir les opérations de terrain qui, malheureusement n'ont pas eu lieu à cause de la pandémie du Covid-19.

Je ne terminerai pas sans remercier l'Académie de Recherches et d'Enseignement Supérieur (ARES) pour avoir financé cette formation ainsi que tous les membres de la Commission de la Coopération au Développement dont le travail a permis de faciliter mon séjour en Belgique.

Qu'ils trouvent tous ici, l'expression de ma sincère reconnaissance.

RESUME

Situé à l'Ouest du Niger, Komabangou est l'un des sites d'orpaillage faisant partie de la province aurifère du Liptako. L'or y est exploité de manière artisanale en utilisant des procédés chimiques impliquant le mercure et le cyanure. L'objectif du présent travail est d'évaluer les impacts de l'orpaillage sur les eaux de surfaces, les eaux souterraines, le couvert végétal ainsi que sur le revenu et la santé des orpailleurs et de la population environnante. Ainsi, après exploitation des résultats d'analyses des ETM dans les eaux et le sol réalisées respectivement par Tankari Dan-Badjo et al., (2014) et Ibrahim et al., (2019), il ressort que les eaux issues de sossoriya (sluice) ne sont pas très chargées en ETM ce qui n'est pas le cas des eaux issues de cyanuration. Ces dernières contiennent des concentrations de l'ordre de 24,29 mg/l en As, 83,22 mg/l en Hg, 3,88 mg/l en Pb et 7859,00 mg/l en Zn. Ces valeurs sont au-delà des normes nigériennes de rejets des eaux usées dans l'environnement qui sont de 0,1 mg/l pour l'arsenic, 0,5 mg/l pour le mercure, 0,5 mg/l pour le plomb et 1,0 mg/l pour le zinc. Dans les eaux de surface la concentration en Hg est 1,15 mg/l et celle du Zn est de 6,21 mg/l. Ces valeurs qui dépassent les valeurs limites fixées par l'OMS indiquent une contamination par les activités d'orpaillage.

Dans les eaux souterraines la concentration en mercure est 232 fois supérieure à la valeur limite fixée par l'OMS. Celle du zinc est quant à elle 8 fois supérieure à la valeur limite fixée par l'arrêté N°141/MSP/LCE/DGSP/DS fixant les normes de potabilité de l'eau de boisson au Niger tandis que la concentration en arsenic (0,019 mg/l) atteint la valeur limite fixée par l'OMS (0,01 mg/l). Les analyses du sol indiquent aussi que le site est, sans aucune surprise, pollué par les ETM avec un IP variant de 1,10 à 17,84 (IP>1 indique déjà une pollution polymétallique). La matrice d'impacts a permis d'évaluer les impacts de l'orpaillage sur le site de Komabangou. Ces impacts sont classés en intensité majeure, moyenne et mineure. L'évaluation indique que l'orpaillage a des impacts négatifs majeurs sur les eaux de surface, les eaux souterraines mais aussi sur le sol ainsi que le couvert végétal. Néanmoins, l'orpaillage a également un impact positif non négligeable sur le revenu des orpailleurs.

Enfin, des recommandations ont été formulées afin de faire de l'exploitation artisanale de l'or à Komabangou une activité qui, tout en participant à la réduction la pauvreté dans le monde rural, préservera aussi la santé de la population ainsi que les fonctions naturelles de l'environnement, le but étant à terme de faire de l'orpaillage une activité durable.

Mots clés : Orpaillage, ETM, mercure, cyanure, matrice d'impacts, environnement, Komabangou

ABSTRACT

Located in west part of Niger, Komabangou is one of the gold mining sites in the auriferous province of Liptako. Gold is mined in an artisanal manner using chemical processes involving mercury and cyanide. The aim of this study is to assess the impact of artisanal gold mining on surface water, groundwater, vegetation as well as on the income and health of artisanal gold miners and the surrounding population. Thus, by using result of ETM analyses in water and soil carried out by Tankari Dan-Badjo et al, (2014) and Ibrahim and al, (2019) it appears that water from sossoriya (sluice) is not loaded with ETM as it is for water from cyanidation. Cyanidation water contains 24,29 mg/l of As, 83,22 mg/l of Hg, 3,88 mg/l of Pb and 7859,00 mg/l of Zn. These values are beyond Niger's standards for wastewater discharge into the environment which are 0,1 mg/l for arsenic, 0,5 mg/l for mercury, 0,5 mg/l for plomb et 1,0 mg/l for zinc. In the surface water, the concentration of mercury is 1,15 mg/l and the concentration of zinc is 6,21 mg/l. These values exceed the limit set by WHO and show a contamination from artisanal gold mining activities.

In groundwater, mercury concentration is 232 times higher than the limit value set by WHO. Zinc concentration is 8 times higher than the limit value set by arrêté N°141/MSP/LCE/DGSP/DS setting the standards for the potability of drinking water in Niger while the arsenic concentration reaches the limit value set by WHO (0,01 mg/l). Soil analyses also show, unsurprisingly that, the site is polluted by ETM with IP varying from 1,10 to 17,84 (IP >1 indicate a pollution by many metals). The impacts matrix was used to assess the impacts of artisanal gold mining at Komabangou. These impacts are classified into major, medium and minor intensity. The assessment shows that artisanal gold mining activities has major negative impact on surface water, groundwater, soil and vegetation. However, artisanal gold mining has also significant positive impacts on the artisanal gold miner's income. Finally, recommendations are formulated in order to make artisanal gold mining at Komabangou an activity which contribute to reduce poverty in rural area and secure population health as well as protect the environment. The final aim is to make artisanal gold mining at Komabangou a sustainable activity.

Keywords: Artisanal gold mining, ETM, mercury, cyanide, impacts matrix, environment, Komabangou

TABLE DES MATIERES

| | |
|-----------------------------------------------------|-----|
| DEDICACES | ii |
| REMERCIEMENTS | iii |
| RESUME | iv |
| ABSTRACT | v |
| LISTE DES TABLEAUX..... | ix |
| LISTE DES FIGURES..... | x |
| SIGLES ET ABREVIATIONS..... | xi |
| INTRODUCTION | 1 |
| PREMIERE PARTIE : GENERALITES | 3 |
| I. PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE | 4 |
| 1.1 Localisation de la zone d'étude | 4 |
| 1.2 Cadre Géomorphologique et géographique..... | 5 |
| 1.2.1 Relief..... | 5 |
| 1.2.2 Climat..... | 6 |
| 1.2.3 Végétation..... | 7 |
| 1.2.4 La faune | 8 |
| II. CONTEXTE GEOLOGIQUE | 8 |
| 2.1 Géologie régionale | 8 |
| 2.2 Géologie du Liptako | 9 |
| 2.2.1 Le Précambrien | 10 |
| 2.2.2 Le Birrimien..... | 10 |
| 2.2.3 Le Tarkwaien | 11 |
| 2.2.4 Les dolérites récentes..... | 11 |
| 2.2.5 L'Infracambrien et Voltaïen | 11 |
| 2.2.6 Le Tertiaire | 12 |
| 2.2.7 Les dépôts quaternaires | 12 |
| III. CONTEXTE HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE | 12 |
| 3.1 Cadre hydrologique..... | 12 |
| 3.2 Cadre hydrogéologique | 13 |
| 3.2.1 Les nappes alluviales | 13 |
| 3.2.2 Les nappes du socle..... | 14 |
| 3.2.3 La nappe du Continental Terminal (ct3) | 14 |
| IV. SOCIETE | 15 |

| | | |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1 | Démographie | 15 |
| 4.2 | Activités | 17 |
| 4.2.1 | L'agriculture | 17 |
| 4.2.2 | L'élevage | 17 |
| 4.2.3 | La cueillette | 18 |
| 4.2.4 | Le commerce | 18 |
| 4.2.5 | L'orpaillage | 18 |
| DEUXIEME PARTIE : | | 19 |
| MATERIEL, METHODOLOGIE ET ACTIVITES MINIERES..... | | 19 |
| I. | MATERIEL | 20 |
| II. | METHODOLOGIE DE TRAVAIL..... | 20 |
| 2.1 | Revue bibliographique | 20 |
| 2.2 | Conception d'une fiche d'enquête..... | 22 |
| 2.2.1 | Fiche d'enquête destinée aux orpailleurs..... | 23 |
| 2.2.2 | Fiche d'enquête destinée aux non orpailleurs..... | 25 |
| III. | PRESENTATION DES ACTIVITES MINIERES DANS LE LIPTAKO..... | 25 |
| 3.1 | Exploitation industrielle de l'or..... | 25 |
| 3.2 | Exploitation artisanale de l'or..... | 26 |
| 3.2.1 | Creusement des puits | 27 |
| 3.2.2 | Concassage et broyage | 27 |
| 3.2.3 | Tamissage | 28 |
| 3.2.4 | Séparation de l'or | 28 |
| 3.3 | Cadre législatif | 29 |
| TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION | | 31 |
| I. | ANALYSE DIACHRONIQUE DES IMAGES SATELLITES..... | 32 |
| II. | EVALUATION DES IMPACTS DE L'ORPAILLAGE SUR L'ENVIRONNEMENT | 32 |
| 2.1 | Impacts de l'orpaillage sur les eaux de surface et les eaux souterraines | 32 |
| 2.1.1 | Les métaux | 32 |
| 2.1.2 | Le cyanure | 39 |
| 2.2 | Impacts de l'orpaillage sur le sol..... | 40 |
| 2.3 | Impacts de l'orpaillage sur le couvert végétal | 44 |
| 2.4 | Impacts de l'orpaillage sur la santé humaine (aspects généraux) | 45 |
| 2.4.1 | Le mercure | 45 |
| 2.4.2 | L'arsenic | 46 |

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4.3 | Le plomb | 46 |
| 2.4.4 | Le cyanure | 47 |
| 2.4.5 | La silice | 47 |
| 2.5 | Impacts de l'orpaillage sur le revenu | 48 |
| III. | MATRICE D'IMPACTS..... | 49 |
| 3.1 | Caractérisation des impacts | 50 |
| 3.1.1 | Nature..... | 50 |
| 3.1.2 | Intensité..... | 50 |
| 3.1.3 | Portée | 51 |
| 3.1.4 | Durée | 51 |
| 3.1.5 | Réversibilité..... | 51 |
| 3.2 | Evaluation des impacts sur les composantes du milieu physique et humain | 52 |
| IV. | RECOMMANDATIONS | 56 |
| | CONCLUSIONS..... | 59 |
| | BIBLIOGRAPHIE | 60 |
| | WEBOGRAPHIE..... | 63 |
| | ANNEXE 1 : Fiche d'enquête destinée aux orpailleurs | 64 |
| | ANNEXE 2 : Fiche d'enquête destinée aux non orpailleurs | 67 |
| | ANNEXE 3 : Coordonnées des points d'échantillonnages | 68 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1: Précipitation et température annuelles enregistrées dans la région de Tillabéry entre 2013 et 2017 | 6 |
| Tableau 2:: Evolution de la population de Téra entre 2013 et 2017..... | 16 |
| Tableau 3:Superficie cultivée pour la production du mil, sorgho et niébé dans le département de Téra | 17 |
| Tableau 4:Evolution du cheptel dans le département de Téra | 17 |
| Tableau 5: Objectifs, hypothèses et indicateurs de l'enquête..... | 24 |
| Tableau 6:Teneurs moyennes des éléments traces métalliques (en mg/l) selon la nature des eaux | 34 |
| Tableau 7: Comparaison des résultats d'analyse aux normes en vigueur (en mg/l) | 35 |
| Tableau 8: Index de pollution dans les sols à Komabangou | 43 |
| Tableau 9: Liste de quelques espèces de plantes menacées de disparition | 45 |
| Tableau 10: Production artisanale et industrielle d'or dans le Liptako | 48 |
| Tableau 11 : Critères d'évaluation des impacts (d'après Fecteau) | 52 |
| Tableau 12: Matrice d'évaluation des impacts de l'orpaillage sur le site de Komabangou | 53 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1: Localisation de la zone d'étude (Djibrilla, 2017 modifiée) | 4 |
| Figure 2: Allure générale du relief dans le Liptako au Niger (Djibrilla, 2017 modifiée) | 5 |
| Figure 3: Les zones climatiques dans le Liptako nigérien (Djibrilla, 2017 modifiée) | 7 |
| Figure 4: Carte géologique du craton Ouest africain (d'après Peucat et al., 2005 modifiée) | 9 |
| Figure 5: Carte géologique simplifiée du Liptako (Soumaila, 2000) | 10 |
| Figure 6: Réseau hydrographique du Liptako (Djibrilla, 2017) | 12 |
| Figure 7: Hydrogramme de crue à la station de Niamey (source : ABN) | 13 |
| Figure 8: Carte hydrogéologique du Liptako nigérien (Djibrilla 2017, modifiée) | 15 |
| Figure 9: Densité de la population par commune dans le Liptako (RGPH/2012) | 16 |
| Figure 10: Les différentes étapes de la conception d'une fiche d'enquête | 23 |
| Figure 11: Schéma du procédé de traitement chimique du minerai aurifère à la SML (Djibrilla, 2017) | 26 |
| Figure 12: Position spatiale des points de prélèvement (Fond de carte Google Satellite) | 33 |
| Figure 13: Carte de la concentration en arsenic selon le type d'eau | 36 |
| Figure 14: Carte de la concentration en mercure selon le type d'eau | 37 |
| Figure 15: Carte de la concentration en plomb selon le type d'eau | 38 |
| Figure 16: Carte de la concentration en zinc selon le type d'eau | 39 |
| Figure 17: Concentrations en ETM dans les sols de Komabangou en fonction des sites de prélèvement (Ibrahim et al., 2019) | 42 |
| Figure 18 : Aperçu succinct des impacts directs des différentes phases d'activité sur l'environnement à Komabangou | 50 |

SIGLES ET ABREVIATIONS

- ABN** : Autorité du Bassin du Niger
- AGC** : Artisanal Gold Council
- Eau_cyan** : Eau de cyanuration
- Eau_surf** : Eau de surface
- Eau_soss** : Eau de sossoriya
- Eau_sout** : Eau souterraine
- EMA** : Exploitation Minière Artisanale
- EMAPE** : Exploitation Minière Artisanale et à Petite Echelle
- ETM** : Elément Trace Métallique
- DMN** : Direction de la Météorologie Nationale
- IP** : Index de Pollution
- Ma** : Millions d'années
- MeHg**: Méthyl mercure
- MCO** : Mine à Ciel Ouvert
- MME** : Ministère des Mines et de L'Energie
- OMS** : Organisation Mondiale de la Santé
- PNUE** : Programme des Nations Unies pour l'Environnement
- PVC** : Polychlorure de Vinyle
- RDC** : République Démocratique du Congo
- SML** : Société des Mines de Liptako
- Tmin** : Température minimale
- Tmax** : Température maximale
- THg** : Mercure Total
- UCL** : Université Catholique de Louvain
- USAID**: United States Agency for International Development
- Vég** : Végétation

INTRODUCTION

L'exploitation minière artisanale de l'or ou l'orpaillage est apparue depuis fort longtemps et est pratiquée par des millions de personnes à travers le monde. Elle implique plus 10 à 15 millions de personnes réparties dans plus de 70 pays dans le monde (PNUE, 2014). C'est une activité qui procure des revenus substantiels aux orpailleurs ainsi qu'à leur famille. L'orpaillage bien que pratiqué par des moyens rudimentaires avec très peu ou pas de mécanisation, constitue une activité qui injecte des quantités considérables du métal jaune dans le circuit mondial de l'or. En effet, 15 à 20% de l'or produit dans le monde sont issus des exploitations minières artisanales (USAID, 2017). Dans les pays en développement, plusieurs millions de personnes dépendent l'extraction minière artisanale et à petite échelle (OMS, 2017). L'orpaillage fournit de l'emploi ainsi que diverses activités génératrices de revenus à des millions de personnes à travers le monde. L'exploitation minière artisanale de l'or constitue aussi est un soutien à l'économie parce qu'il participe à la lutte contre la pauvreté et l'exode rural (Tomicic & al, 2011).

Au Niger, c'est à partir de 1980 que la ruée vers l'or a débuté sur le site de Komabangou dans la province aurifère du Liptako. L'or est associé à des filons de quartz que l'on retrouve dans la série volcano-sédimentaire d'âge protérozoïque. La Société des Mines du Liptako (SML) est la seule société qui exploite l'or suivant des procédés industriels. En 2016 la SML a produit 1271 kg d'or d'après un décompte de l'administration des mines.

En dehors de la SML, plusieurs sites d'exploitation artisanale de l'or sont en activité dans le Liptako parmi lesquels le site de Komabangou. L'administration des mines a estimé la production artisanale de l'or en 2016 à 412,2 Kg soit environ le tiers de la production industrielle. En plus des orpailleurs nigériens, certains viennent de plusieurs autres pays notamment le Burkina Faso, le Mali, le Bénin, le Togo, le Ghana, et le Sénégal.

Cependant, l'orpaillage crée de nouveaux défis qui peuvent exacerber les challenges environnementaux, sanitaires et même sécuritaires du fait d'une méconnaissance par les orpailleurs des impacts négatifs que peuvent générer cette activité (Richard & al, 2015). En effet, l'orpaillage est une activité qui fait intervenir des produits chimiques et des pratiques qui sont dangereux pour la santé humaine et environnementale. A Komabangou, l'orpaillage implique l'utilisation du mercure pour amalgamer l'or et le cyanure pour le traitement des rejets de sossoriaya. Ces activités conduisent au rejet de ces produits toxiques dans l'environnement sans aucun traitement préalable. Aussi, le creusement des puits implique la destruction des végétations qui est déjà rare dans le Liptako ainsi que la modification du paysage à travers le stockage des déblais et des résidus de traitement.

Au vu des multiples défis sanitaires et environnementaux générés par l'orpaillage, le présent travail se propose de fournir une évaluation des impacts sur le site de Komabangou. Plus spécifiquement il s'agit de :

- Faire l'état de la situation de l'exploitation artisanale de l'or sur le site de Komabangou ;
- Procéder à l'évaluation des impacts de cette activité sur l'environnement axé sur les eaux de surface, les eaux souterraines et le couvert végétal ;

- Evaluer l'impact sanitaire de cette activité au vu des méthodes et pratiques dangereuses dont les orpailleurs font usage ;
- Evaluer l'apport de cette activité sur le revenu des orpailleurs.

Ainsi, le présent travail sera structuré en trois parties :

- La première partie traitera des généralités sur la zone d'étude, le cadre géologique, hydrologique et hydrogéologique, la démographie ainsi que les activités de la population ;
- La deuxième partie traitera des matériels et méthodologie ainsi que la présentation des activités minières dans le Liptako ;
- Enfin la troisième partie traitera de l'analyse des résultats, de l'évaluation des impacts ainsi que des recommandations visant à faire de l'orpaillage une activité beaucoup plus respectueuse de l'environnement sans pour autant altérer sa fonction de réduction de la pauvreté.

PREMIERE PARTIE : GENERALITES

I. PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE

Le Liptako est une zone aurifère qui concerne certains pays de l'Afrique de l'Ouest à savoir le Burkina Faso, la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Mali et le Niger. Au Niger, le Liptako se trouve dans la partie Ouest du pays, essentiellement dans la région de Tillabéry où il représente une zone d'environ 49 690 Km² (Knobel, 1991).

1.1 Localisation de la zone d'étude

Le site d'orpaillage de Komabangou se trouve dans le Liptako, région de Tillabéry. Il est situé à quelques 150 Km au Nord-Ouest de la capitale Niamey. Le site est entre les latitudes 14°01'41'' et 14°07'56'' Nord et les longitudes 01°02'12'' et 01°10'00'' Est (cf figure 1). Komabangou couvre une superficie d'environ 157 Km² (Tankari Dan-Badjo et al., 2014). Le site est implanté sur la rive droite du fleuve Niger. C'est une zone où s'est développée l'activité d'orpaillage depuis 1980, date marquant le début de la ruée vers l'or au Niger. Cet attrait vers le métal jaune a favorisé l'installation de plusieurs habitations dans la zone de façon quasi permanente ainsi que le développement de plusieurs autres activités économiques indirectement liées à l'exploitation de l'or.

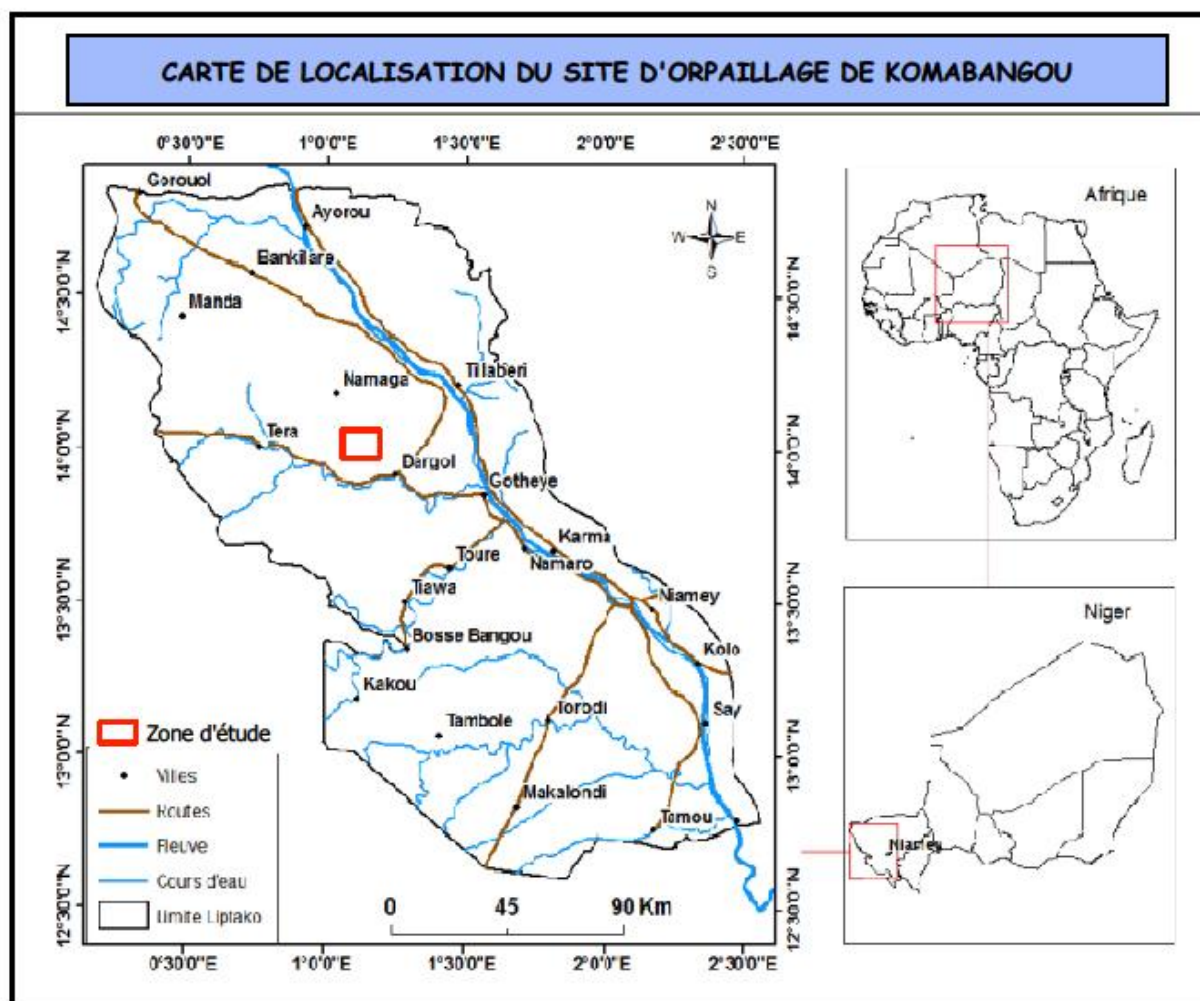


Figure 1: Localisation de la zone d'étude (Djibrilla, 2017 modifiée)

1.2 Cadre Géomorphologique et géographique

Dans cette section il sera décliné les grands traits qui caractérisent le paysage du Liptako à savoir le relief, le climat, la végétation ainsi que la faune.

1.2.1 Relief

La zone d'étude est un terrain avec une pente générale qui s'étend du Nord vers le Sud. L'altitude générale dans le Liptako nigérien varie de 356 m au Nord à 166 m au Sud (cf figure 2). Sur la rive droite, où se situe la zone d'étude, on retrouve des cordons dunaires orientés WNW-ESE et des butes tabulaires dont l'altitude peut monter jusqu'à 300 m (Djibrilla, 2017). Le Liptako est traversé du Nord au Sud par le fleuve Niger qui coule à l'Ouest du pays sur 550 km. Plusieurs affluents d'importance variable dont on peut citer la Sirba, le Goroual, le Goroubi, entaillent les roches du socle. Leur écoulement s'arrête après la saison pluvieuse. Ces affluents participent à modeler le paysage en sciant par endroit le relief ci-dessus décrit.

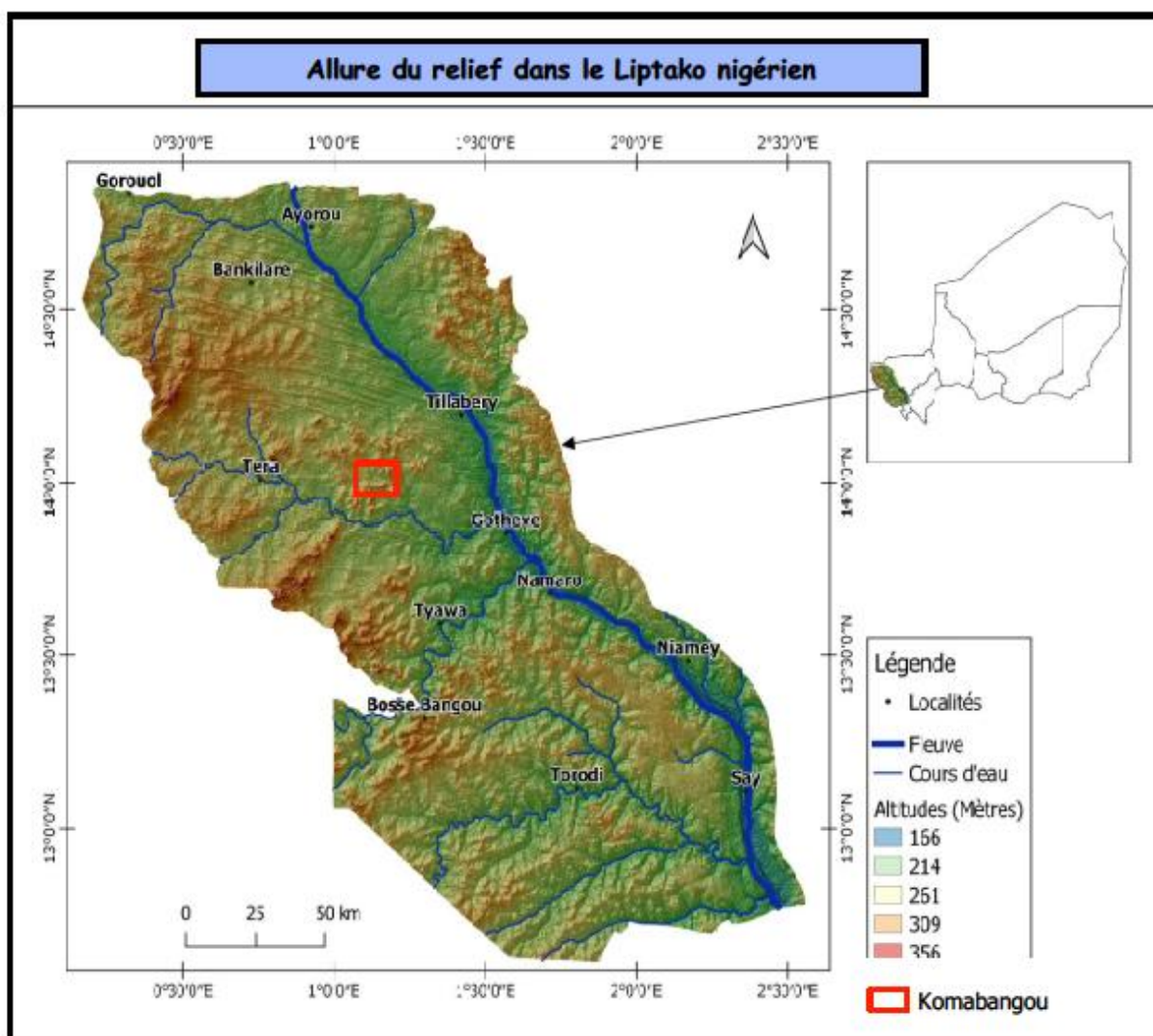


Figure 2: Allure générale du relief dans le Liptako au Niger (Djibrilla, 2017 modifiée)

Dans cette zone de socle, quelques types de sols se sont développés. Ainsi on rencontre des sols ferrugineux tropicaux lessivés, des sols peu évolués, des sols à pseudogley, et sols

minéraux bruts qui proviennent de l'érosion des affleurements existants. Ces derniers se rencontrent surtout au Sud-Ouest le long de la frontière avec le Burkina Faso (Sivakumar et al., 1993).

1.2.2 Climat

La région de Tillabéry comprend trois (3) zones climatiques à savoir (INS-Niger, 2016):

- La zone sahélo-saharienne avec une pluviosité comprise entre 150 et 300 mm/an en général. Cette zone se trouve hors du Liptako dans la partie Nord ;
- La zone sahélienne avec une pluviosité comprise entre 300 et 600 mm/an ;
- La zone sahélo-soudanienne avec une pluviosité supérieure 600 mm/an. Il est à noter que l'extrême Sud de cette zone peut recevoir une pluviosité supérieure à 700 mm/an. La zone sahélo-soudanienne représente moins de 1% de la superficie du territoire du Niger.

La quantité de précipitation annuelle enregistrée dans la région de Tillabéry entre 2013 et 2017 se présente comme suit :

Tableau 1: Précipitation et température annuelles enregistrées dans la région de Tillabéry entre 2013 et 2017

| Année | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Précipitation annuelle (mm) | 519,1 | 482,9 | 512,7 | 691,7 | 409,1 |
| Nombre de jour de pluie | 50 | 45 | 52 | 55 | 45 |
| Tmin moyenne annuelle | 23,7 | 23,6 | 23,7 | 24,0 | 23,9 |
| Tmax moyenne annuelle | 37,7 | 37,5 | 36,9 | 36,6 | 37,4 |

Source : (INS-Niger, 2018)

Le site de Komabangou fait partie de la zone située entre les isohyètes 400 mm/an et 500 mm/an (cf figure 3). Le nombre de jour de pluie est en général inférieur à 2 mois. Entre 2013 et 2017 les températures enregistrées varient entre 23,6°C et 37,7°C.

A l'instar de l'ensemble du pays, deux grandes saisons caractérisent la région de Tillabéry :

- Une saison sèche allant du mois de novembre au mois de mai caractérisée par un vent chaud et sec appelé harmattan de direction E-NE venant du Sahara avec une vitesse moyenne de 2,5 m/s (INS-Niger, 2016).
- Une saison de pluie allant de juin à octobre caractérisée par un vent frais et humide appelé mousson venant de l'océan Atlantique de direction S-SW avec une vitesse moyenne de 1,5 m/s (INS-Niger, 2016). Les mois de juillet et août constituent les mois où la région enregistre plus de pluviosité avec 60% de la quantité totale tombée (Babaye, 2012).

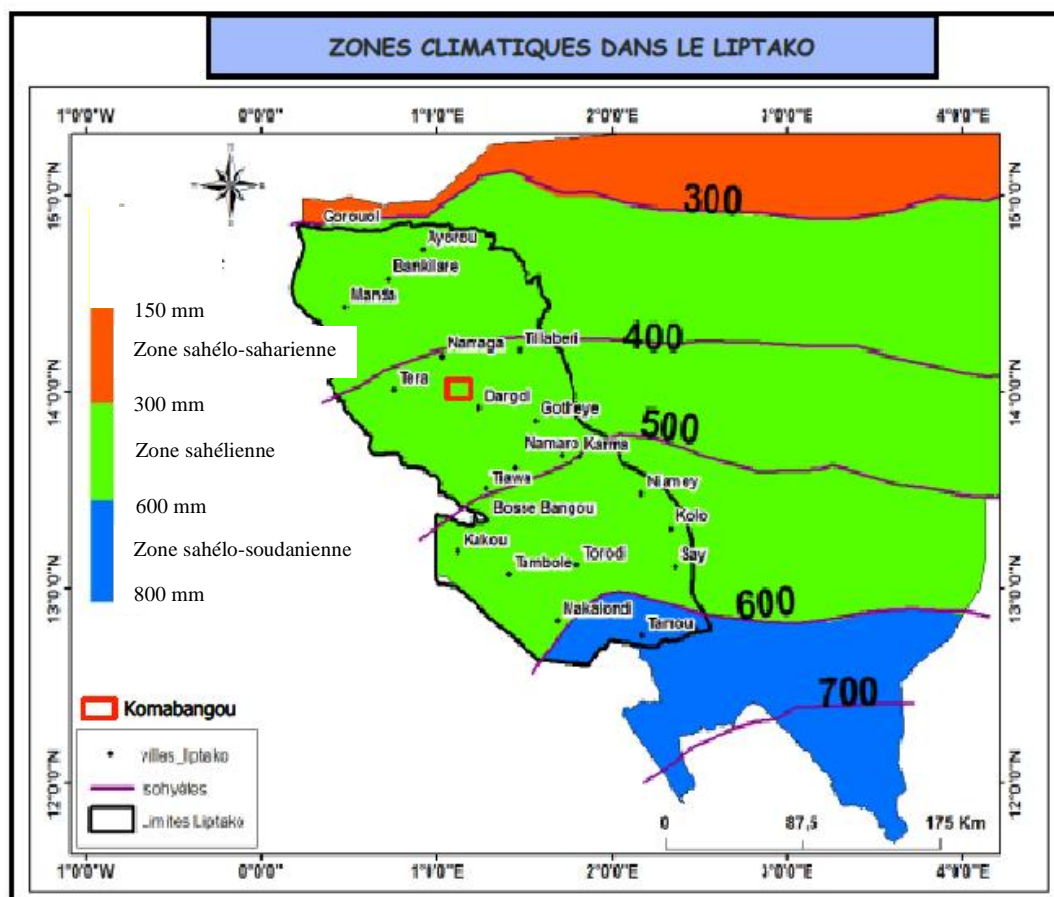


Figure 3: Les zones climatiques dans le Liptako nigérien (Djibrilla, 2017 modifiée)

1.2.3 Végétation

Dans le Liptako la végétation est composée des arbustes et des herbacés qui évoluent en fonction de la quantité des précipitations d'une zone à l'autre. Ainsi dans la partie septentrionale on rencontre des espèces ligneuses peu nombreuses, rabougries et épineuses alors qu'au Sud dans le domaine sahélo-soudanien elles y sont plus nombreuses, plus denses et plus hautes (Ambouta, D'Herbès, & Peltier, 1997). Dans la famille des ligneux on rencontre l'*Acacia raddiana*, *Acacia nilotica*, *Acacia senegalensis* et des *Banalites aegyptiaca* (Djibrilla, 2017). Sur les plateaux on rencontre plutôt le *Combretum glutinosum* et le *Combretum nigricans*. Dans les vallées et koris on rencontre des espèces comme le *Fehderbia aldida*, *Banalites aegyptiaca*, *Hyphaene thebaica* et *Piliostigma reticulatum*.

On retrouve également des graminées comme le *Cenchrus biflorus*, *Aristida mutabilis*, *Eragrotis tremula*, *Digitaria gayanus*, *Alysicarpus ovalifolius* et *Zornia glochidiata* (Djibrilla, 2017). Il y a lieu de souligner aussi le développement anarchique du *Sida cordifolia* herbacé qui colonise de plus en plus d'espace rendant ainsi plus difficile la pratique de pâturage.

1.2.4 La faune

En dehors du Parc National de W¹, les espèces animales en particulier les mammifères sont quasiment rares dans la région de Tillabéry en raison sans doute de la rareté de la végétation (Djibrilla, 2017). Aussi, le phénomène de la dégradation de l'environnement qui accélère l'avancée du désert couplé à la pression anthropique sur les ressources arbustives et fauniques peuvent expliquer cette rareté.

II. CONTEXTE GEOLOGIQUE

2.1 Géologie régionale

L'évolution géologique de l'Afrique peut être résumée en cinq (5) cycles orogéniques à savoir (Babaye, 2012):

- Le Léonien (3500-2900 Ma) ;
- Le Libérien (2900-2400 Ma) ;
- L'Eburnéen (2400-1600 Ma) ;
- Le Kibarien (1600-1900 Ma) ;
- Le Panafricain (900-530 Ma).

En Afrique Quatre (4) cratons sont nés de ces différentes phases orogéniques à savoir le craton Ouest africain, le craton du Congo, le craton Nilotique et le craton du Kalahari (Soumaila, 2000). Le craton Ouest africain est constitué de socle archéen (3500 à 2500 Ma) et Paléoprotérozoïque (2200 à 1700 Ma) dont les orientations sont Est-Ouest (cf figure 4). Ces derniers appelés boucliers sont le bouclier de Réguibat au Nord et le bouclier de Man-Léo au Sud (Leprêtre, 2015). Le processus à l'origine de la formation du craton Ouest africain est caractérisé par un démantèlement du socle, son arasement et aplatissage. Il comprend des bassins côtiers sur ses bordures et des bassins intra-cratoniques dont le bassin de Taoudéni, vaste bassin précambrien intra cratonique, le bassin des Iullemenden, le bassin du Tchad et le bassin sénégal-mauritanien. Le craton Ouest africain est bordé au Nord par l'Anti-Atlas, au Sud par l'océan Atlantique, à l'Est par les chaînes panafricaines du Dahoméides du Gourma et le Hoggar et à l'Ouest par les Rockélides et les Mauritanides (Soumaila, 2000).

¹ Réserve naturelle et faunique dans laquelle le fleuve Niger dessine un W

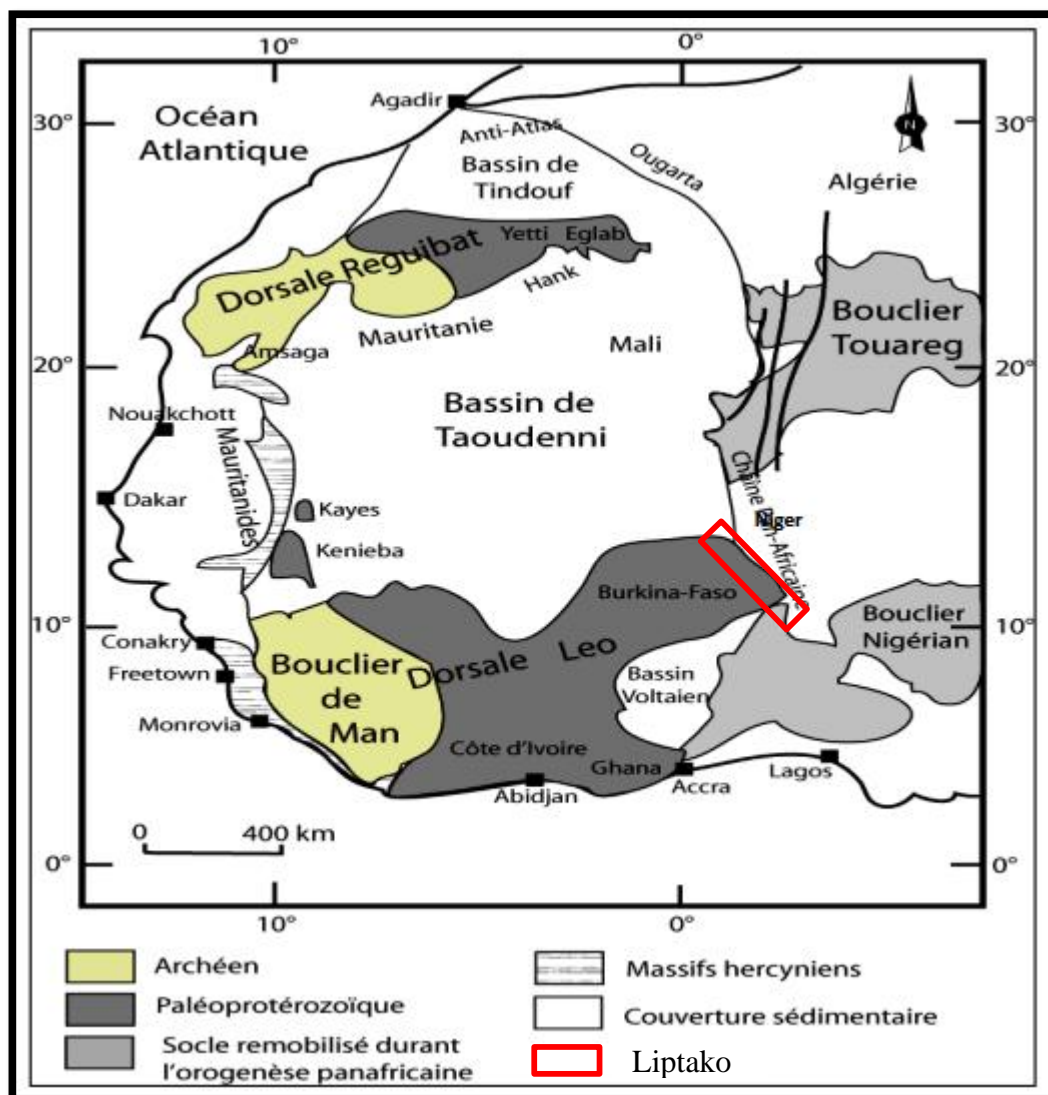


Figure 4: Carte géologique du craton Ouest africain (d'après Peucat et al., 2005 modifiée)

2.2 Géologie du Liptako

Le Liptako constitue la partie Nord-Est de la dorsale de Man (cf figure 4). Il est entouré par les formations de la couverture phanérozoïque du bassin des Iullemeden, les grès infracambrien du bassin de Taoudéni et des Voltas (Djibrilla, 2017). La ceinture Birimienne couvre la plus grande partie du Liptako. Cette ceinture comprend les roches méta-volcano-sédimentaires et méta-plutonique formant des sillons volcano-sédimentaires. Ainsi on distingue (cf figure 5) :

- Le sillon du Goroual orienté Nord-Sud ;
- Le sillon de Téra orienté NE-SO ;
- Le sillon de la Sirba NE-SO ;

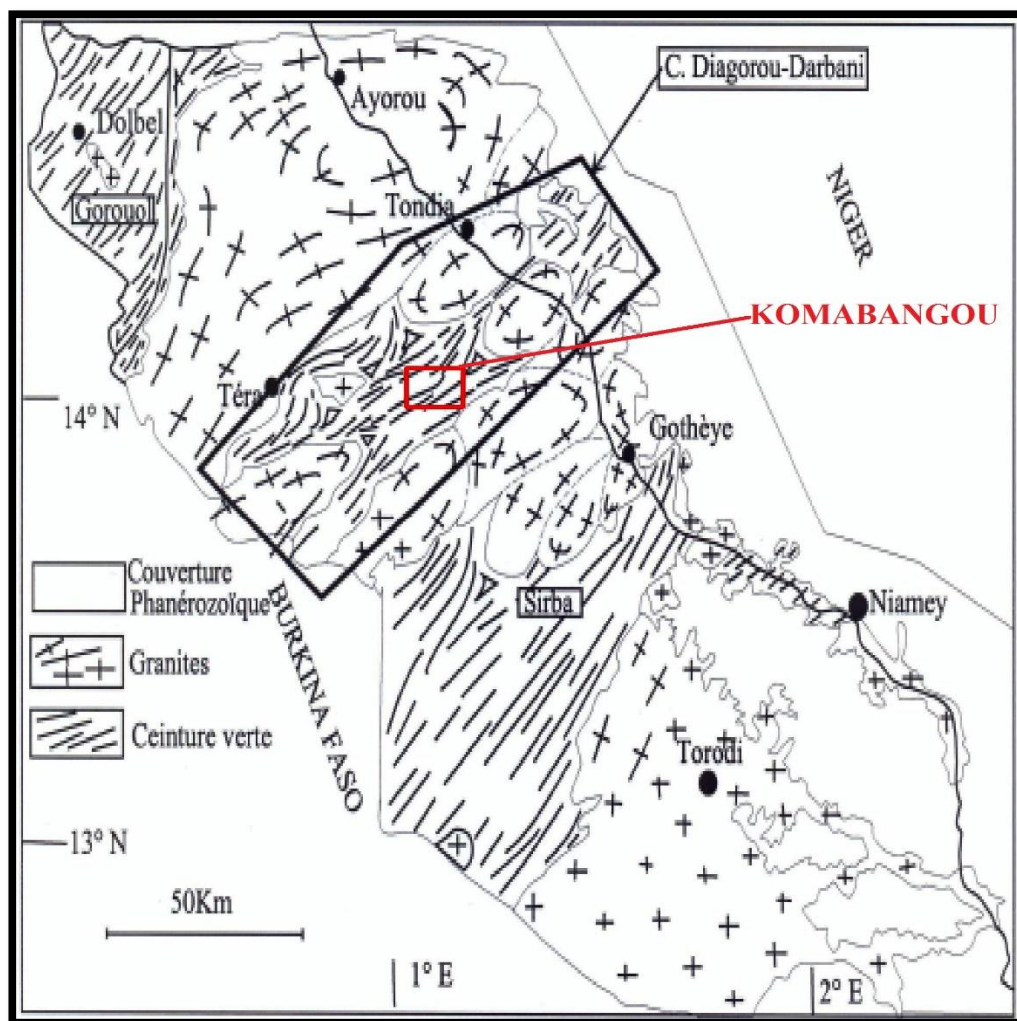


Figure 5: Carte géologique simplifiée du Liptako (Soumaila, 2000)

Notons que plusieurs travaux ont été effectués par différents auteurs dont Machens, Dupuis, Pons, Ama Salah, Abdou, Affaton, Soumaila et Konaté, et qui ont permis une meilleure compréhension des grands traits géologiques et structuraux de cette zone (Saley & al., 2017). En voici un aperçu succinct sur les formations du Précambrien inférieur, le Birrimien, le Tarkwaïen, les formations des dolérites récentes, le Tertiaire et les dépôts quaternaires.

2.2.1 Le Précambrien

Les migmatites et les granites migmatitiques constituent les roches les plus anciennes du Liptako. On retrouve ces migmatites comme reliques au sein des granitiques syntectoniques qui en font partie du Birrimien (Machens, 1964) (Knobel, 1991).

2.2.2 Le Birrimien

- **La série sédimentaire** : ces formations sont constituées des schistes, des schistes sériciteux ainsi que des grauwackes. On rencontre aussi quelques fois des tuffs volcaniques, des schistes manganésifères, des schistes albitisés, des schistes à chiasolite, des microbrèches et des conglomérats intraformationnels (Ama Salah et al., 1996).

- **Les roches basiques et neutres** : il s'agit des roches magmatiques dont certaines sont mis en place par écoulement sous-marin et localisées au Liptako central et septentrional. D'autres par contre sont intrusives dans des séries sédimentaires sous forme de laccolites. Ces roches sont interstratifiées sur les schistes et les grauwackes. Les roches basiques ont subi en plus du métamorphisme régional, un auto-métamorphisme qui les transforme plutôt en métagabbros, méta-pyroxénites, amphibolites, méta-basaltes, et méta-andésites (Soumaila, Henry, & Rossy, 2004). Les andésites sont brèchiques et affleurent avec les basaltes et sont en lien avec les schistes manganésifères et les tufs volcaniques.
- **Les granites syntectoniques (Birrimien)** : ces granites sont très répandus dans le Liptako. Ils ont été mis en place pendant le plissement de la série sédimentaire dans laquelle les roches basiques ont été injectées. Ces roches se sont formées pour majorité aux dépens des formations pré existantes : roches pré-birrimiennes, schistes, grauwackes et roches basiques du Birrimien. On peut distinguer parmi ces formations, des diorites quartziques, des granites akéritiques, des granodiorites, des granites monzonitiques, et des granites alcalins. Il faut noter aussi la présence très remarquable des granites porphyroïdes à grand cristaux de microcline. Ces granites syntectoniques sont aussi accompagnés des structures filoniennes dans les zones de contact ou à l'intérieur des massifs granitiques.
- **Les granites post tectonique** : ils se rencontrent dans les roches vertes et les granites syntectoniques mais aussi dans la série Birrimienne. Leur contact est assez net. Ils se distinguent des granites syntectoniques par leur taille plus grande. Du point de vue pétrographique on connaît des diorites, des diorites quartzifères, des diorites quartziques, des granodiorites, des granites akéritiques, des granites monzonitiques, des syénites, des syénites alcalines et des granites alcalins.

2.2.3 Le Tarkwaien

Il est constitué par des grauwackes, d'arkoses quartzitiques, de quartzites à stratification entrecroisée et des conglomérats grossiers (Ama Salah et al., 1996). Ils se sont déposés en sédimentation irrégulière. Cette dernière est caractérisée par des remobilisations des structures issues d'une orogénèse et le résultat est de type molasse.

2.2.4 Les dolérites récentes

Ces roches se rencontrent dans le Liptako sous forme d'injection de filon recoupant alors les séries sédimentaires du Birrimien, les roches vertes, les granites syntectoniques, et les granites post tectoniques.

2.2.5 L'Infracambrien et Voltaïen

Ils sont constitués par des argilites, d'arkoses et de schistes que l'on retrouve au Nord du 15^{ème} parallèle et des grès quartzitiques au Sud que l'on observe à la hauteur du Parc de W. A la hauteur de Niamey, ils sont devenus très kaolinisés ce qui n'avait pas permis une analyse plus poussée de leur mise en place.

2.2.6 Le Tertiaire

Il s'agit essentiellement du Continental terminal. Cette formation est constituée par des dépôts lacustres et fluviaux.

2.2.7 Les dépôts quaternaires

Ils sont constitués par des dunes de sable orientées NW-SE ainsi que des latérites.

III. CONTEXTE HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

3.1 Cadre hydrologique

Dans le Liptako nigérien le fleuve Niger coule sur 250 km du NW-SE (cf figure 6) (Djibrilla, 2017). Sa largeur est variable entre Ayorou au Nord et Kirtachi au Sud. Son débit est maximal vers la période décembre-janvier qui correspond à la crue Guinéenne. Au mois d'août-septembre il peut aussi connaître une période de hautes eaux. En avril-mai, l'écoulement se résume à son strict minimum dans le lit mineur atteignant seulement 300 m de large par endroit.

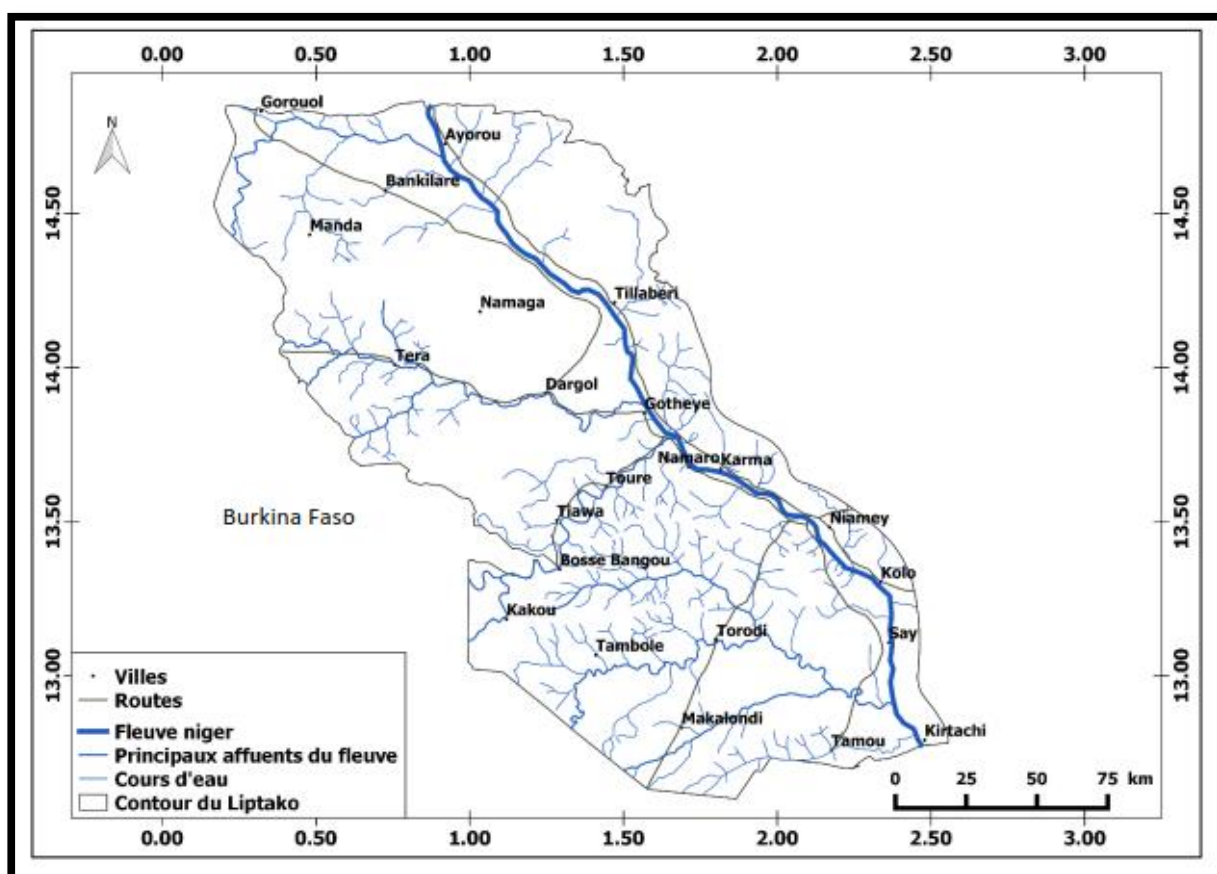


Figure 6: Réseau hydrographique du Liptako (Djibrilla, 2017)

Ainsi, pour l'année 2020, à la station de Niamey le débit maximal du fleuve enregistré est de $161 \text{ m}^3/\text{s}$ le 4 mai avec un débit minimum de $61 \text{ m}^3/\text{s}$ le 30 mai (ABN, 2020). La figure 7 montre l'hydrogramme de crue à la station de Niamey.

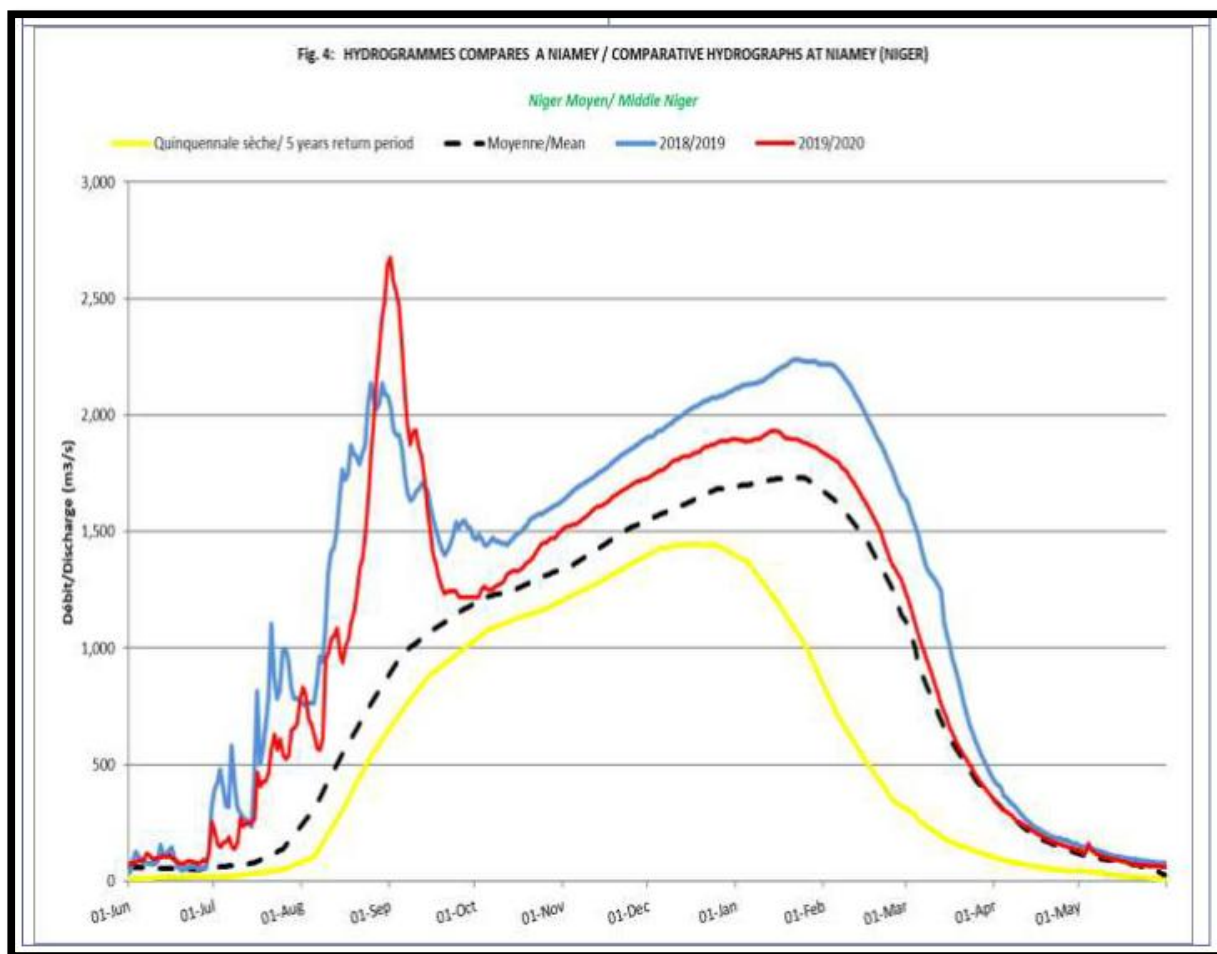


Figure 7: Hydrogramme de crue à la station de Niamey (source : ABN)

Des affluents relativement importants traversent aussi le Liptako avant de se jeter dans le fleuve Niger. Il s'agit du Gorouol, du Dargol, de la Sirba, du Goroubi et du Diamangou. Ces derniers prennent naissance au Burkina Faso, drainent de grandes surfaces avant de se jeter dans le fleuve Niger. Ces affluents ont tous un point en commun : leur écoulement est temporaire. Ils cessent en effet de couler après la saison des pluies (juin-septembre) et tarissent complètement quelques mois plus tard.

3.2 Cadre hydrogéologique

Dans le Liptako les ressources en eau souterraine sont rares et se localisent aux endroits où une altération provoque une accumulation des matériaux perméables ou à un réseau de fracturation qui confère aux roches une perméabilité dite de fracture. On distingue ainsi trois (3) types d'aquifères (cf figure 8) qui sont les nappes alluviales, les nappes du socle et la nappe du Continental Terminal (ct3) (Djibrilla, 2017).

3.2.1 Les nappes alluviales

Elles sont liées au dépôt alluvial du quaternaire. Elles sont réalimentées par les eaux de pluie. Ces alluvions résultent de l'érosion et transport par le fleuve qui en se déposant forment des

nappes alluviales dont le débit est faible. Les affluents du fleuve participent aussi à ce processus de formation de nappes alluviales qui sont discontinues.

3.2.2 Les nappes du socle

On peut distinguer deux (2) de nappes dans le socle :

- Les nappes superficielles liées à l'altération des roches et dont l'importance et le débit dépendent de la puissance d'altération. Ces nappes discontinues et de faible débit sont exploitées en général par ouverture de grand trou (puisard) ;
- Les nappes liées aux zones de fissuration des roches du socles : l'importance de ces nappes et le débit qu'elles peuvent assurer dépendent de la densité du réseau des fractures ainsi que de leur continuité. Elles se trouvent à une profondeur moyenne de 20 à 40 m lorsqu'elles se situent dans les granitoïdes et 30 à 60 m dans les niveaux schisteux. Ces nappes assurent un débit moyen de 4 m³/h (Djibrilla, 2017).

3.2.3 La nappe du Continental Terminal (ct3)

C'est une nappe qui s'étend à l'Ouest du fleuve, de la Sirba jusqu'à la Tapoa et atteint une largeur d'une dizaine de kilomètres par endroit (Greigert, 1978). Elle se trouve à une profondeur qui varie entre 15 à 40 m par endroits. L'aquifère du Continental Terminal est constituée par un niveau oolithique qui se trouve à la base du Continental Terminal- lithomarge Birrimienne (Greigert, 1978). Le gradient hydraulique est d'environ 4 à 5% avec un écoulement vers l'Est du fait de la structure du soubassement rocheux (Djibrilla, 2017). Cette nappe est alimentée par l'infiltration et le ruissellement des eaux de pluie.

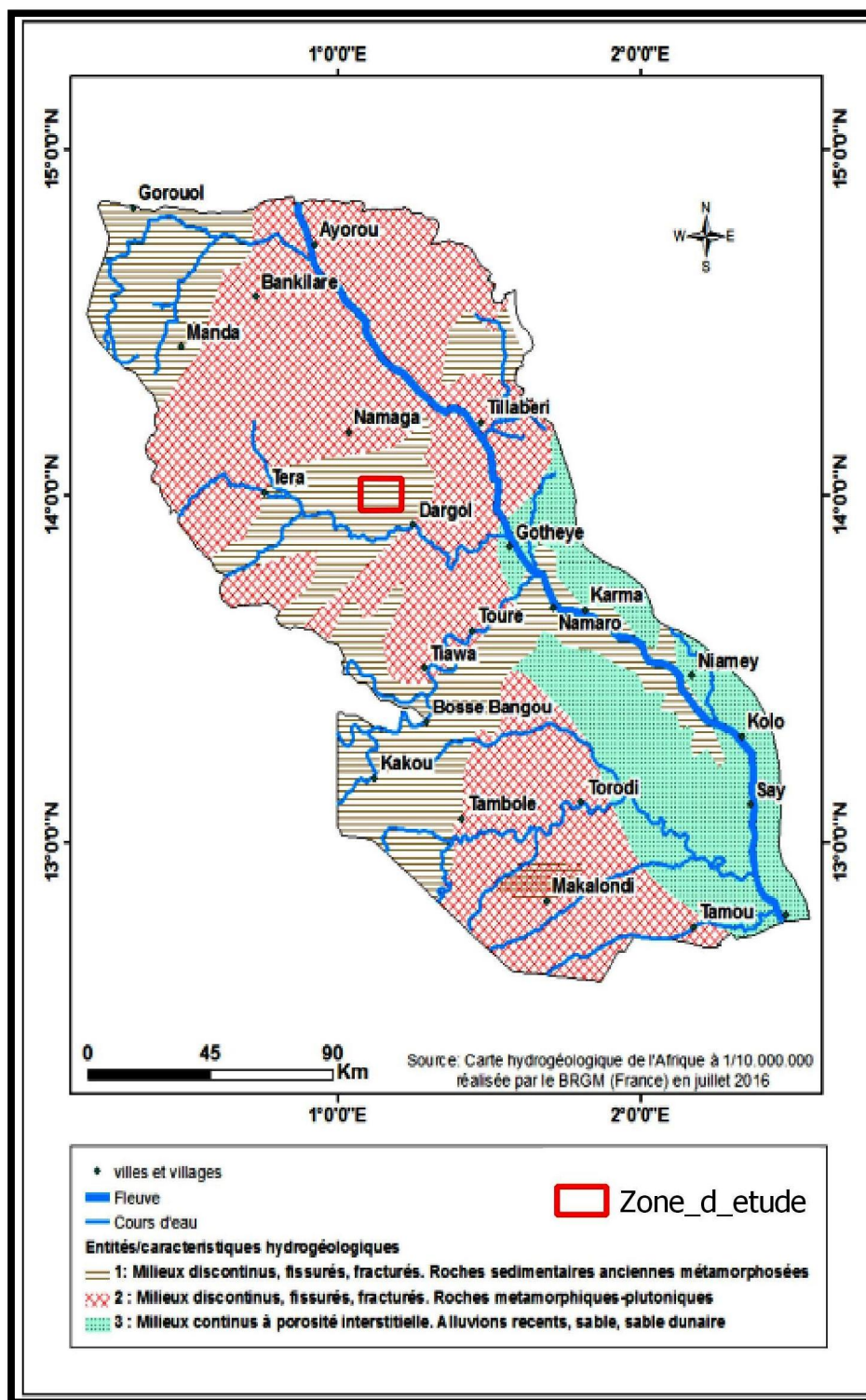


Figure 8: Carte hydrogéologique du Liptako nigérien (Djibrilla 2017, modifiée)

IV. SOCIETE

4.1 Démographie

La population vivant dans le Liptako est estimée à plus de 2 000 000 d'habitants répartis dans trente-une (31) communes (INS-Niger, 2015). Elle est composée des ethnies suivantes : Zarma-

4.2 Activités

4.2.1 L'agriculture

C'est la principale activité économique des habitants du Liptako. L'agriculture est surtout pluviale autrement dit elle ne se pratique qu'entre la période juin-septembre. La culture concerne principalement les céréales comme le mil, le sorgho, le maïs et le niébé.

Cependant, le long du fleuve et sur certains affluents lorsque cela est possible, une agriculture irriguée est pratiquée par la population. Cela concerne principalement le riz ainsi que certains légumes. Le tableau 3 donne l'évolution de la superficie des principales céréales cultivées dans la zone d'appartenance du site de Komabangou.

Tableau 3: Superficie cultivée pour la production du mil, sorgho et niébé dans le département de Téra

| Superficie cultivée (ha) | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Mil | 164 785 | 213 855 | 135 400 | 205 301 | 178 077 |
| Sorgho | 56 202 | 72 621 | 83 067 | 91 676 | 86 216 |
| Niébé | 100 210 | 130 251 | 128 218 | 125 041 | 151 007 |
| Total | 321 197 | 416 727 | 346 685 | 422 018 | 415 300 |

Source : (INS-Niger, 2018)

Dans l'ensemble on peut constater que la surface cultivable a très peu augmenté entre 2013 et 2017 et qu'il existe des fluctuations interannuelles.

4.2.2 L'élevage

Tout comme dans la partie centrale du Niger, le Liptako est une zone agropastorale dans sa partie Sud et essentiellement pastorale dans sa partie Nord. L'élevage concerne principalement les bovins, les ovins, les caprins, les camelins, les équins et les asins. Le tableau 4 donne l'évolution du cheptel dans le département de Téra par catégorie et en Unité du Bétail Tropical (UBT) pour les cinq dernières années.

Tableau 4: Evolution du cheptel dans le département de Téra

| Type cheptel | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Bovins | 524 354 | 555 814 | 589 164 | 624 514 | 661 985 |
| Ovins | 280 049 | 289 851 | 299 995 | 310 495 | 321 362 |
| Caprins | 299 524 | 311 505 | 323 965 | 336 924 | 350 401 |
| Camelins | 24 580 | 24 900 | 25 223 | 25 551 | 25 883 |
| Equins | 3 799 | 3 837 | 3 876 | 3 915 | 3 954 |
| Asins | 73 696 | 75 170 | 76 673 | 78 206 | 79 770 |
| Equivalent UBT | 571 646 | 601 177 | 632 361 | 665 293 | 700 075 |

Source : (INS-Niger, 2018)

On peut noter que le cheptel est en constante évolution. Le taux d'augmentation, en UBT est d'environ 22% entre 2013 et 2017.

4.2.3 La cueillette

Malgré une couverture végétale faible, la cueillette est pratiquée par la population de la région du Liptako. La récolte des feuilles de certaines espèces arbustives, des fleurs, des fruits, des écorces et des racines permet d'approvisionner une partie de l'alimentation de la population mais permet également à certains de pratiquer une activité lucrative à l'image de la pratique de la pharmacopée traditionnelle.

4.2.4 Le commerce

Le commerce est l'une des activités pratiquées par la population en plus de l'agriculture. Il est caractérisé par la présence des marchés hebdomadaires dans certains grands villages. L'avènement de l'orpaillage dans certaines zones du Liptako a favorisé le développement de petits commerces tout autour des sites. Ainsi, une bonne partie de la population pratique le commerce sur les sites d'orpaillages afin de fournir aux orpailleurs des produits relatifs à l'alimentation, la santé, le transport, l'énergie et même certains produits qui peuvent être utilisés dans l'extraction et le traitement de l'or.

4.2.5 L'orpaillage

Depuis la ruée vers l'or en 1980 au Niger, l'orpaillage s'est développé dans la zone de Liptako (cf photo 1). Dans certaines parties, elle est même la première activité économique de la population. Plusieurs personnes s'adonnent à l'activité d'orpaillage soit de façon temporaire (souvent après l'hivernage et jusqu'à la prochaine saison de pluie), soit de façon permanente. Au-delà des nigériens on dénombre plusieurs nationalités présentes dans cette partie du Niger comme des burkinabés, des maliens, des béninois, des Togolais, des ghanéens et des sénégalais. Selon le ministère en charge des mines, ils sont plus 100 000 orpailleurs suivant un décompte réalisé en 2016.

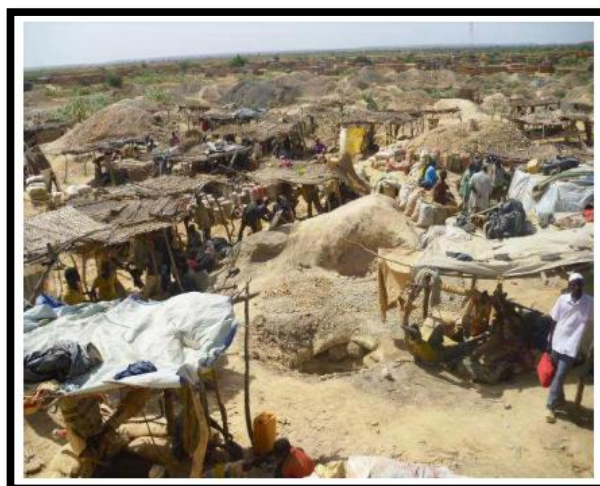


Photo 1: Site d'orpaillage de Komabangou (Photo Tankari 2014)

DEUXIEME PARTIE :
MATERIEL, METHODOLOGIE ET ACTIVITES MINIERES

I. MATERIEL

La réalisation de toute étude de cette nature nécessite la mise à disposition d'un certain nombre de matériel. Plusieurs activités de terrain ont été prévues dans le cadre du présent travail afin d'atteindre les objectifs fixés :

- Un échantillonnage des eaux des forages, puits, et eaux de surface autour du site d'orpaillage aux fins d'analyses chimiques en laboratoire ;
- Une enquête de terrain qui devrait toucher les orpailleurs ainsi que les non orpailleurs.

Cependant, l'imbrication de plusieurs facteurs dont la pandémie de Covid-19 et l'insécurité sur le site n'ont pas permis de dérouler le programme d'activité initialement prévu. Ainsi, le matériel utilisé dans le cadre du présent travail se résume ainsi qu'il suit :

- Le logiciel libre QGIS version 3.10.1 avec GRASS 7.8.2 pour l'édition des cartes ;
- Le package MS Office 16 pour la saisie ;
- Un ordinateur portable.

II. METHODOLOGIE DE TRAVAIL

La méthodologie utilisée dans le cadre du présent travail peut se résumer en deux (2) phases bien distinctes qui sont :

- La revue bibliographique ;
- La conception d'une fiche d'enquête par questionnaire.

2.1 Revue bibliographique

Dans le cadre de ce travail, plusieurs documents ont été passés en revue afin de faire un état de situation des travaux réalisés dans ce domaine de façon générale et dans le Liptako en particulier. Les articles et autres rapports rédigés par les institutions nationales et internationales à ce propos ont été consultés à travers les moteurs de recherches Google, Google Scholar ainsi que la base de données Scopus à travers le portail documentaire de l'UCL.

Il y a plusieurs littératures à propos de l'exploitation minière artisanale (EMA) et à petite échelle (EMAPE). Depuis fort longtemps, les problèmes liés à l'orpaillage avaient été évoqués dans le but d'améliorer la situation et faire évoluer ce secteur vers une organisation formelle et sécurisée. Ces problèmes vont de la pollution environnementale à travers les rejets des produits chimiques dans la nature, aux problèmes sanitaires en passant par divers conflits.

L'exploitation minière artisanale est définie comme une activité à faible rendement, ne nécessitant pas beaucoup d'investissement et utilisant une forme primaire de travail (USAID, 2017). La convention de Minamata ratifiée par plus de 70 pays, un traité sur le mercure qui est entré en vigueur le 16 août 2017 définit l'exploitation minière artisanale d'or comme une activité réalisée par des individus ou de petites entreprises avec un investissement très faible et une production très limitée (Programme des Nations Unies pour l'Environnement, 2017). Cette définition soulève déjà les problèmes auxquels cette activité est confrontée.

Il est aujourd'hui admis par tous que l'EMA de l'or génère énormément de pollution dans l'environnement au nombre desquelles le rejet de mercure. Le mercure est en effet utilisé dans la phase finale de l'extraction afin d'amalgamer l'or. La récupération du métal jaune par brûlage libère les vapeurs de mercure. Ces dernières sont inhalées par les opérateurs et les habitants se trouvant aux alentours du site, mais aussi ces vapeurs se répandent dans la nature (OMS, 2017). Aussi, pendant l'amalgamation, les eaux de lavage sont parfois déversées directement dans la nature où elles rejoignent les cours d'eau (Augustin, 2018). Ainsi, la chaîne alimentaire se retrouve impactée et les habitants éloignés des sites d'orpaillage peuvent aussi l'être.

En dehors de la pollution au mercure et éventuellement d'autres métaux lourds comme le plomb et l'arsenic, l'EMA peut provoquer ou contribuer, à la dégradation physique du milieu, à la déforestation ou même à la modification de la morphologie des cours d'eau naturels.

L'orpaillage est en général source de conflits de diverses natures. En effet, plusieurs cas de situations conflictuelles ont été rapportés dans la littérature. Des conflits entre autochtones et immigrants, entre propriétaires terriens et exploitants, en passant par des dissensions entre orpailleurs et société détentrice d'un permis de recherche ou d'exploitation sont légions et présents quasiment dans toutes les EMA.

La dégradation des mœurs est aussi un fléau qui caractérise les EMA en général. En effet autour des sites d'orpaillage se développent toutes sortes d'activités allant du commerce à la vente des produits prohibés comme la drogue et l'alcool. Au-delà, il se développe un phénomène de prostitution soit à travers des professionnelles de sexe, soit parce que les femmes qui y vivent autour des sites se retrouvent sans moyens pour subvenir aux besoins quotidiens de leur enfants souvent abandonnés par leur mari suite à un divorce ou au décès de ce dernier (Perks & al., 2015).

Le défi sécuritaire est aussi souvent une caractéristique des EMA. La recherche du gain facile pousse les groupes armés à s'attaquer aux orpailleurs en leur imposant des taxes illégales (USAID, 2017). Parfois les groupes armés peuvent prendre le contrôle entier d'un site afin de s'offrir les produits d'exploitation. En RDC par exemple, plusieurs EMA sont menacées par des conflits entre groupes armés, des criminels et des forces étatiques. En effet, le contrôle des sites d'orpaillage et des routes sont quelques-unes des activités subversives auxquelles se livrent les groupes armés à l'Est du Congo (Perks & al., 2015).

Au Niger l'exploitation artisanale de l'or existe depuis longtemps mais elle a connu une expansion à partir des années 1980. Le développement de cette activité s'est malheureusement accompagné par la multiplication des nombreux problèmes sanitaires et environnementaux. La prolifération des polluants chimiques dans l'environnement, l'abattage des arbres et la modification du paysage sont là quelques exemples très édifiants.

Cependant, l'orpaillage n'a pas que des côtés négatifs. La pratique de l'orpaillage a procuré à de nombreuses personnes et familles un revenu leur permettant de mieux vivre et même d'avoir des économies. Aussi, l'orpaillage, même s'il s'exerce dans des conditions relativement

difficiles, peut avoir un poids assez important dans la production minière globale de notre pays, donc sur l'économie locale et nationale. En effet, la production de l'or issue de l'exploitation minière artisanale est estimée à 412,20 kg en 2016.

2.2 Conception d'une fiche d'enquête

Dans le but de procéder à l'analyse et l'évaluation des impacts de l'orpaillage dans la zone d'étude, il a été élaboré une fiche d'enquête. L'objectif de cette fiche est d'approcher les orpailleurs sur le site afin de leur poser un certain nombre de questions permettant de mieux comprendre le déroulement de l'activité ainsi que les impacts positifs et/ou négatifs qu'elle peut générer. Afin de réaliser une bonne enquête dans les conditions optimales, il y a lieu d'adopter une démarche scientifique consistant à :

- Définir le problème à étudier : cela consiste à identifier clairement les buts à atteindre à l'issue du dépouillement des résultats ;
- Définir les hypothèses qui vont servir de base à la mise en place du questionnaire : cela conduit à réfléchir sur les procédures qui permettront de mettre en place un travail de qualité ;
- Mettre en place des indicateurs quantifiables : ce sont les jauges qui permettront de savoir si les buts fixés à l'avance ont été atteints et à quel degré l'ont-ils été ;
- Concevoir le questionnaire : c'est le suivi des règles méthodologiques permettant de poser les bonnes questions en relation avec les objectifs fixés et à critiquer ces questions dans le but de les améliorer ;
- Analyser et critiquer le questionnaire : Une fois établi, le questionnaire doit être scruté minutieusement afin de déceler les éventuelles incohérences ou omissions. Cela peut être fait en testant le questionnaire directement sur la population cible ou non. Cette « pré enquête » permettra de faire des mises au point au besoin avant de passer à l'administration du questionnaire proprement dite.

Le déroulement de ce processus fondamental et nécessaire pour réussir une enquête de terrain peut se résumer comme suit (cf figure 10) :

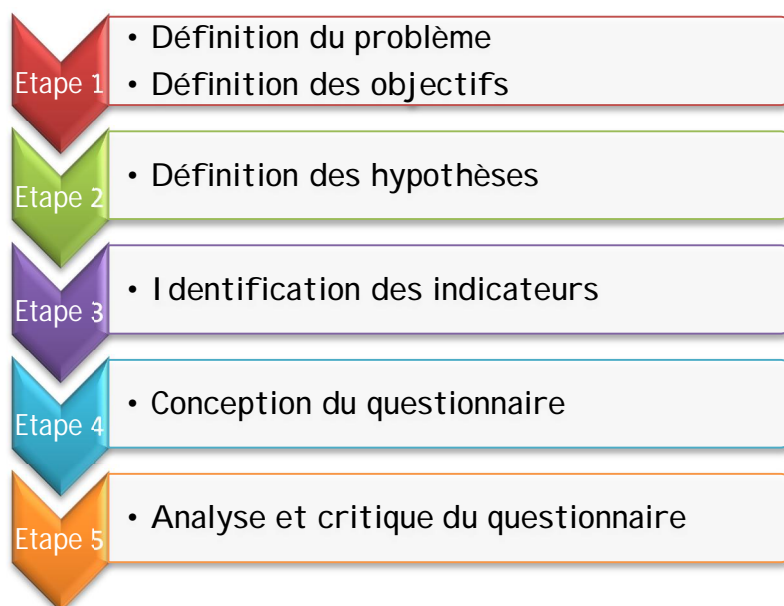


Figure 10: Les différentes étapes de la conception d'une fiche d'enquête

Le questionnaire est administré par avance avant l'étape du terrain proprement dite dans le but de tester la validité des questions mais aussi de voir si les réponses obtenues correspondent aux réponses attendues. Cela permet aussi de voir les modalités qui avaient été omises lors de l'étape de conception.

2.2.1 Fiche d'enquête destinée aux orpailleurs

Dans le cadre du présent travail, un questionnaire a été élaboré suivant la procédure ci-dessus indiquée. Ce questionnaire sera administré aux orpailleurs exerçant de façon permanente ou temporaire l'activité d'orpaillage. L'enquête sera réalisée sur le site d'orpaillage de Komabangou.

Les objectifs, les hypothèses ainsi que les indicateurs se déclinent ainsi qu'il suit (cf tableau 5) :

Tableau 5: Objectifs, hypothèses et indicateurs de l'enquête

| | |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Objectif de l'enquête</p> | <ul style="list-style-type: none"> · Déterminer si les orpailleurs utilisent un produit chimique comme le mercure ou le cyanure dans le traitement de l'or ; · Déterminer si des maladies ont été signalées et que celles-ci pourraient être liées à l'utilisation des produits chimiques ; · Déterminer l'impact de la dégradation physique de l'environnement lié à l'activité d'orpaillage ; · Déterminer l'impact de l'orpaillage sur le revenu ; · Déterminer s'il existe des conflits sur les sites d'orpaillage ; · Déterminer si les orpailleurs reçoivent des formations dans le cadre de leur activité ; · Déterminer si des formations éventuellement dispensées à l'endroit des orpailleurs sont adaptées ou s'il y a des besoins non couverts. |
| <p>Les hypothèses</p> | <p>H1 : Les orpailleurs utilisent au moins un produit chimique dans le processus de traitement de l'or ;</p> <p>H2 : Les produits chimiques utilisés par les orpailleurs se retrouvent parfois sur le sol ou les lits des cours d'eau ;</p> <p>H3 : L'environnement physique du site d'orpaillage se dégrade ;</p> <p>H4 : Au moins un problème de santé est lié à l'utilisation des produits chimiques sur les sites d'orpaillage ;</p> <p>H5 : Il existe des conflits liés à l'activité d'orpaillage et la diversité culturelle des personnes présentes sur les sites d'orpaillage ;</p> <p>H6 : L'orpaillage impacte positivement le revenu des orpailleurs ;</p> <p>H7 : Les orpailleurs ne reçoivent pas suffisamment des formations et que celles-ci sont souvent inadaptées.</p> |
| <p>Les indicateurs</p> | <ul style="list-style-type: none"> · Le type et la quantité des produits chimiques utilisés ; · Le nombre de conflit enregistré par mois ; · Le nombre d'arbres ou arbustes coupés dans le cadre des activités d'orpaillage ; · Nombre de trous fermés par saison après exploitation ; · L'existence d'une maladie liée à l'utilisation des produits chimiques dans le traitement de l'or ; · Le revenu généré et/ou le niveau de satisfaction procuré par l'orpaillage ; · Le nombre de formation reçu de la part du ministère de tutelle ou d'un autre organisme ; · Le niveau de satisfaction procuré par les formations dispensées ; · L'existence d'autres thèmes de formation qui auraient pu être abordés. |

La fiche d'enquête définitive est présentée en annexe 1. Comme le montre le tableau 5, il s'agit d'une approche vérificatoire qui consistait à confirmer ou infirmer les hypothèses qui ont été énumérées.

2.2.2 Fiche d'enquête destinée aux non orpailleurs

Une deuxième fiche d'enquête a été conçue afin de compléter les informations qui seraient recueillies à travers la première fiche. L'objectif de cette partie est de s'assurer que les aspects de la santé sont propres au site et non à une variabilité qui caractérise la zone en général. Elle permettra aussi d'avoir un point de vu extérieur par rapport à l'activité d'orpaillage. L'annexe 2 présente les questions relatives à cette partie.

Il faut cependant noter que la pandémie de Covid-19 ainsi que l'insécurité qui affecte cette région frontalière avec le Mali et le Burkina Faso, n'ont pas permis l'exécution de ce programme d'enquête.

III. PRESENTATION DES ACTIVITES MINIERES DANS LE LIPTAKO

3.1 Exploitation industrielle de l'or

L'exploitation industrielle de l'or est une activité qui se fait au moyen des méthodes et procédés impliquant une mécanisation poussée et un traitement chimique. Dans le Liptako, la Société des Mines du Liptako (SML) est la seule société qui exploite l'or à travers un procédé industriel. Depuis 2004, date de démarrage de ses activités, la SML exploite un gisement aurifère à travers une exploitation à ciel ouvert par fosse.

Le processus implique l'enlèvement du mort terrain afin d'atteindre le minerai. Ce dernier est extrait par foration et minage puis évacué par des gros engins vers la mine pour subir les opérations de concassage, broyage et séparation.

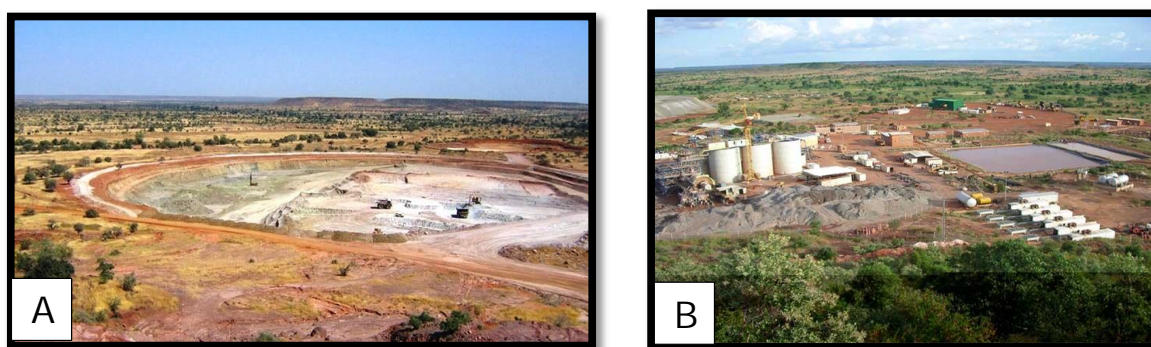


Photo 2 : A- Vue de la MCO ; B- Vue de l'usine de traitement (Photo nigersml.com consulté en 2020)

La dernière opération est la fusion et production des lingots d'or. La figure 11 résume les différentes étapes du traitement du minerai aurifère.

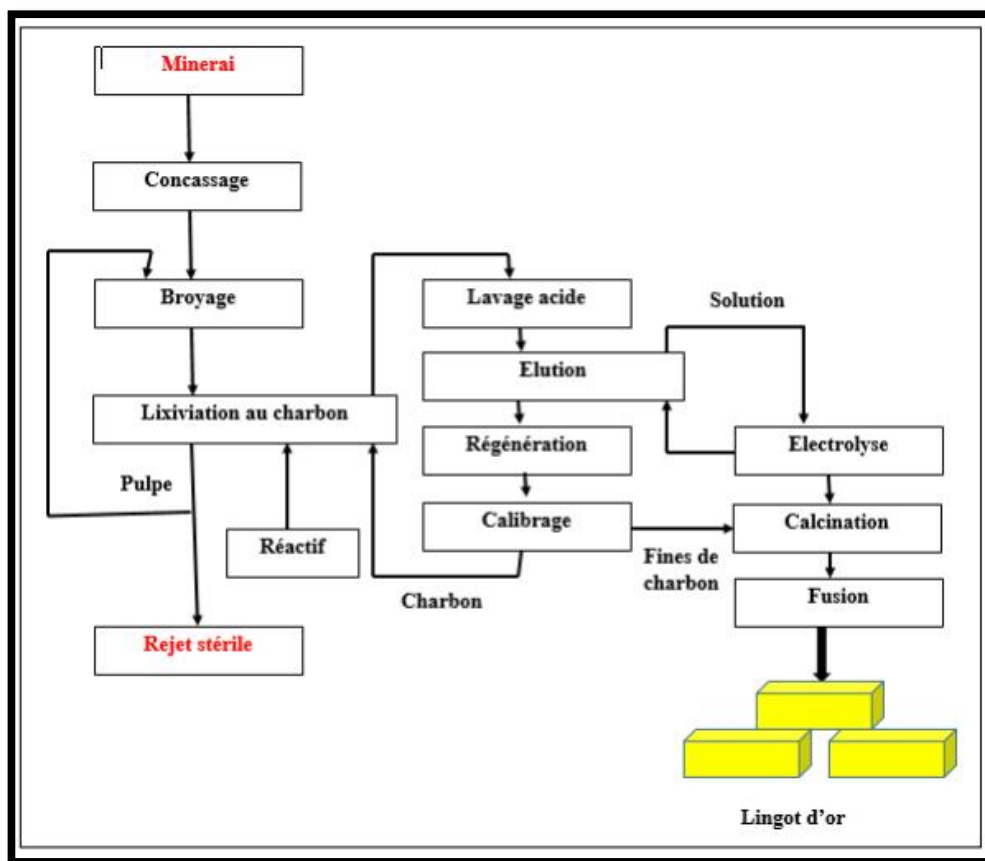


Figure 11: Schéma du procédé de traitement chimique du minerai aurifère à la SML (Djibrilla, 2017)

Selon un décompte du Ministère des Mines réalisé en 2016, la quantité d'or produite industriellement s'élève à 1271 Kg contre 412,2 Kg pour l'orpaillage. Ce dernier occupe donc une part importante dans la production d'or soit environ le tiers de la production industrielle et le quart de la production globale.

3.2 Exploitation artisanale de l'or

Sur le site de Komabangou et dans le Liptako en général, la minéralisation aurifère est liée aux injections des veines de quartz dans la roche encaissante. Ces injections se trouvent dans des schistes, de brèches méta-andésitiques et de méta-microdiorites (Antoine & al., n.d.). Dans d'autres endroits la roche est plutôt constituée des niveaux basaltiques comprenant des interstratifications de grauwackes à extension discontinue (Djibrilla, 2017). L'or est souvent associé aux veines de quartz généralement de couleur gris-bleu, ou associé parfois aux sulfures de fer de type pyrite (FeS_2), arsénopyrite (FeAsS), pyrrhotite (Fe_{1-x}S), et rarement de la chalcopryrite (CuFeS_2) (Antoine & al., n.d.). Alors que le Ministère des Mines évalue, à travers un circuit officiel de traçabilité, la quantité d'or produite par l'orpaillage à 412,2 Kg, l'Institut Nationale de la Statistique (INS) estime globalement cette production à environ 1 tonne par an.

Les principales étapes de l'exploitation artisanale de l'or peuvent se résumer comme suit : creusement, concassage, broyage, tamisage et séparation de l'or sans ou avec des produits chimiques.

3.2.1 Creusement des puits

Pour accéder au gisement, les orpailleurs creusent d'abord un trou sub-vertical de 0,5 m à 1 m de diamètre. Le trou est creusé à l'aide de pioche, marteau, petite pelle et autres petits outils pointus permettant de casser la roche. Le creuseur descend dans le trou au moyen d'une corde reliée à un treuil et porte une lampe à piles attachée à son front (cf photo 3). Les déblais sont remontés dans des petits sacs ou dans un seau à travers la même corde. Un barrage réalisé au moyen de plastique permet d'envoyer de l'air dans le trou.

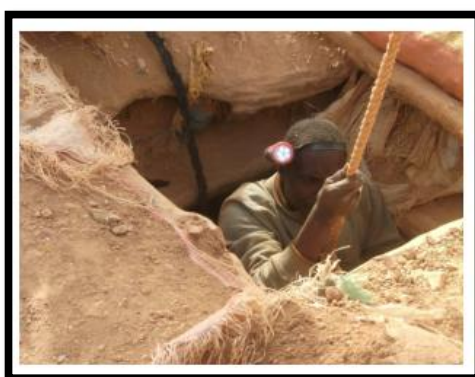


Photo 3 : Trou d'orpaillage en cours de creusement (Photo Djibrilla 2011)

Lorsque le trou rencontre une nappe, l'exhaure est réalisée au moyen d'une motopompe.

3.2.2 Concassage et broyage

Le minerai sorti du trou est concassé à l'aide d'un marteau masse ou d'une grosse tige métallique. Un morceau de roche (du quartz) sert parfois d'enclume. Les projections sont réduites en utilisant un morceau de sac pendant l'opération. Le concassage produit un minerai de granulométrie autour de 15 à 20 mm (Djibrilla, 2017).



Photo 4 : A-Broyage du minerai ; B- Opération de tamisage (Photos Djibrilla 2017)

Le broyage s'effectue au moyen d'un mortier et de pilon (cf photo 4A). Cette opération réduit le minerai à granulométrie grossière en une poudre fine. Cependant d'autres orpailleurs utilisent un moulin pour broyer le minerai. Dans les deux cas, l'opération de broyage produit énormément de poussière fine de silice.

3.2.3 Tamisage

Le tamisage est l'opération qui consiste au moyen d'un tamis à séparer les particules fines des particules encore grossières (cf photo 4B). C'est également une opération qui dégage beaucoup de poussière de silice. A la fin de cette étape, la maille de libération de l'or est censée être atteinte.

3.2.4 Séparation de l'or

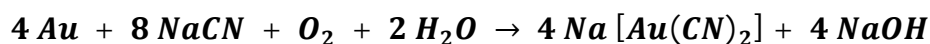
Lorsque le minerai est tamisé, l'opération de traitement et séparation de l'or peuvent commencer. Sur le site de Komabangou, deux principales méthodes de séparation de l'or se dégagent à savoir la séparation gravitaire ou procédé par sossoriya et la méthode de cyanuration.

- **La séparation gravitaire ou procédé par sossoriya** : un dispositif appelé sluice est utilisé pour concentrer l'or. Il s'agit d'un plan incliné dont la surface comporte des rainures et recouverte d'un tapis ou d'une moquette (cf photo 5A). Le minerai préalablement mélangé à de l'eau est versé sur le sluice. L'or étant un minéral dense ($d=19,3$), il est piégé sur le tissu dans les rainures alors que les autres particules sont entraînées par l'eau. Le tapis est ensuite retiré et lavé dans un récipient pour récupérer la boue qui contient l'or. Du mercure est ajouté dans cette boue. Selon une étude réalisée en RDC par (Augustin, 2018) le rapport or-mercure est de 1g d'or pour 1,5 g de mercure. Selon un rapport des Nations Unis le rapport or-mercure est plutôt de 1g d'or pour 1,3 g de mercure. Il faut cependant noter que la quantité du mercure à utiliser est fonction du type de gisement et de la quantité des minéraux amalgamables. Par exemple si de l'argent est présent dans le minerai, celui-ci va consommer une quantité supplémentaire à ce qui est nécessaire à amalgamer l'or (O'Neill & Telmer, 2017). Après agitation et mélange, le mercure amalgame l'or. De l'eau est rajoutée dans le mélange et après agitation, l'amalgame se dépose au fond du récipient. L'eau est évacuée et le reste du minerai est mis dans un tissu pour essorer toute l'eau et récupérer uniquement l'amalgame. A l'aide du papier aluminium récupéré dans les boîtes de cigarettes, le contenu est chauffé jusqu'à évaporation du mercure. On obtient alors un concentré d'or. Ce processus permet de récupérer 20 à 40% d'or (Djibrilla, 2017).

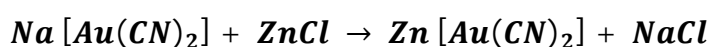


Photo 5 : A- sluice ; B- Bassin de cyanuration (Photos Tankari 2014)

- **Extraction par cyanuration** : l'extraction par cyanuration nécessite des bassins qui sont creusés dans le sol et recouvert d'une couche de béton ou simplement recouvert d'une bâche (cf photo 5B). Ces bassins sont connectés entre eux au moyen d'un tuyau en PVC. La boue contenant de l'or est mise dans un bassin. Une quantité de cyanure de sodium (NaCN) est ajoutée à raison d'environ de 200 ml pour une boue de 200 l (Tankari Dan-Badjo et al., 2014). Le mélange est laissé au repos. Ce dernier est régi par la réaction suivante :



Le mélange passe ensuite dans un autre bassin où est entreposé des copeaux de zinc par l'intermédiaire du tuyau. Par oxydoréduction le zinc capte les particules d'or et l'excès de la solution cyanurée est réutilisé en tête du circuit. La réaction qui régit ce mélange est la suivante :



On ajoute ensuite dans ce mélange de l'acide sulfurique (H₂SO₄) et de l'eau. On obtient un dépôt noir au fond du bassin. On ajoute à ce dépôt de l'acide nitrique (HNO₃). Le mélange est laissé au repos pour décantation et l'on récupère le dépôt. Ce dernier est ensuite chauffé jusqu'à obtention de l'or. Ce procédé permet une récupération métal de 60 à 80% (Djibrilla, 2017).

3.3 Cadre législatif

L'exploitation minière au Niger est encadrée par le code minier. Le code minier de 2006 comprend un certain nombre de lois et d'ordonnances qui régissent l'activité minière. En effet, l'article premier de l'ordonnance n°93-16 du 02 mars 1993 portant loi minière stipule en substance que la prospection, la recherche, l'exploitation, le commerce et la transformation des substances minérales ou fossiles sont régies par les textes de la loi minière (MME, 2007). L'orpaillage est une activité artisanale puisqu'elle est exécutée de manière traditionnelle avec très peu ou pas de moyens techniques. L'exploitation artisanale est également réglementée à travers les dispositions des articles 43, 44 et suivants du code minier. L'article 43 stipule que : « L'exploitation artisanale consiste à extraire et à concentrer les minerais en vue de récupérer la ou les substances utiles qu'ils renferment par des méthodes et procédés artisanaux » (MME, 2007). L'article 44 quant à lui explique que : « l'exploitation artisanale s'applique aux indices de minéralisation de certaines substances dont l'exploitation sous la forme artisanale est traditionnelle ou aux gisements pour lesquels la preuve est faite qu'une exploitation à l'échelle industrielle n'est pas économiquement rentable ». Dans le cas d'espèce il s'agit du minerai d'or. En outre, l'article 45 précise que l'exploitation artisanale par gradins ne doit pas excéder 30 m de profondeur. Lorsqu'il s'agit d'une fouille, la profondeur ne doit pas excéder 10 m.

En ce qui concerne la pollution par les produits chimiques, le législateur nigérien a fixé des normes pour certains produits considérés toxiques pour la santé humaine et l'environnement. Ainsi, l'arrêté N°140/MSP/LCE/DGSP/DS/DH du 27 septembre 2004 fixe les normes de rejet des déchets dans le milieu naturel. Ces rejets comprennent le mercure, l'arsenic et le plomb entre autres. De même, l'arrêté N°141/MSP/LCE/DGSP/DS/DH du 27 septembre 2004 fixe les normes de potabilité de l'eau de boisson. Cet arrêté fixe ainsi les valeurs limites de

concentration de certaines substances chimiques dans l'eau de boisson dont certains éléments métalliques comme le mercure, l'arsenic, le plomb et le zinc entre autres.

Nonobstant ces quelques dispositions, l'orpaillage dans toute sa dimension est insuffisamment encadré par les textes. En outre les dispositions du code minier peinent à être respectées sur le terrain. En effet la profondeur des trous d'orpaillage est d'environ 20 m mais elle peut atteindre 60 m dans certains endroits (Djibrilla, 2017). Aussi, il n'y a pas des dispositions suffisamment précises et des règles de contrôle qui traitent de la protection de la santé humaine et environnementale étant donné que l'orpaillage est une activité qui génère en général beaucoup d'impacts négatifs.

Au Niger, les projets dont la mise en place génèrent des impacts pendant la mise place ou la phase d'exploitation, sont soumis à une étude d'impact sur l'environnement. La loi n°98-56 du 29 décembre 1998 portant loi cadre relative à la gestion de l'environnement fixe le cadre juridique général et les principes fondamentaux de la gestion de l'environnement au Niger. La loi N°2018-28 du 14 mai 2018 détermine les principes fondamentaux de l'Evaluation Environnementale au Niger. Cette loi stipule à son article premier que : « La présente loi détermine les principes fondamentaux de l'Evaluation Environnementale (EE). L'évaluation environnementale est un outil de gestion de l'environnement. Elle recouvre l'Evaluation Environnementale Stratégique (EES), l'Etude d'Impact Environnemental et Social (EIES), ainsi que l'Audit Environnemental et Social (AES). Elle est mise en œuvre par un organe créé à cet effet ». Le Bureau National d'Evaluation Environnementale (BNEE) est un organe créé par décret N°2000-369 et dont le but est de veiller au respect des disposition régissant l'évaluation environnementale. Le décret N°2019-27 vient préciser les conditions d'application de la loi N°2018-28 du 14 mai 2018. Cependant, l'orpaillage qui est une activité informelle semble échapper à ces dispositions de protection de l'environnement.

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION

I. ANALYSE DIACHRONIQUE DES IMAGES SATELLITES

L'analyse diachronique est une opération qui permet de comparer différentes images à différentes dates afin de déterminer les changements. La détection de changement de l'occupation du sol permet de déterminer l'existence ou l'ampleur des phénomènes comme la dégradation du couvert végétal, la déforestation, la désertification ou encore la modification dans le type d'utilisation des sols (Noyola-Medrano & al., 2003). Le changement peut être fait des facteurs naturels comme le vent, la pluie mais pourrait aussi être lié aux facteurs anthropiques comme dans le cas de l'exploitation minière artisanale. Sur le site d'orpaillage, la détection des changements est un moyen qui permet d'évaluer l'évolution de la dégradation physique de l'environnement.

A Komabangou, la faible extension du site ainsi que la non disponibilité des images historiques n'a pas permis de procéder à cette analyse.

II. EVALUATION DES IMPACTS DE L'ORPAILLAGE SUR L'ENVIRONNEMENT

L'exploitation artisanale de l'or est une activité génératrice d'énormes perturbations dans le milieu naturel mais aussi sur la santé des orpailleurs ainsi que des personnes qui vivent aux alentours des sites d'exploitation. Cependant malgré son caractère perturbateur, l'orpaillage dans le Liptako a également des points positifs. Il a contribué et contribue encore à l'amélioration du revenu familial, du cadre de vie sociale, et lutte contre l'exode et l'immigration. Dans cette partie, il sera décliné les impacts négatifs et positifs de l'orpaillage sur le site de Komabangou.

2.1 Impacts de l'orpaillage sur les eaux de surface et les eaux souterraines

2.1.1 Les métaux

Tankari Dan-Bajo et al., (2014) avaient analysé, les eaux de surface et les eaux souterraines du site de Komabangou en raison de quatre (4) échantillons chacun pour le rejet des eaux issues du traitement par sossoriya et par cyanuration, trois (3) échantillons des eaux de surface (eau stagnante, mare) et quatre (4) échantillons d'eau souterraine (cf figure 12). Le tableau 6 donne les résultats d'analyse des différents types d'eau. Pour chaque type d'eau, la moyenne a été calculée et la valeur affectée à un point pour un élément chimique est donc la moyenne des valeurs observées pour les points de même type.

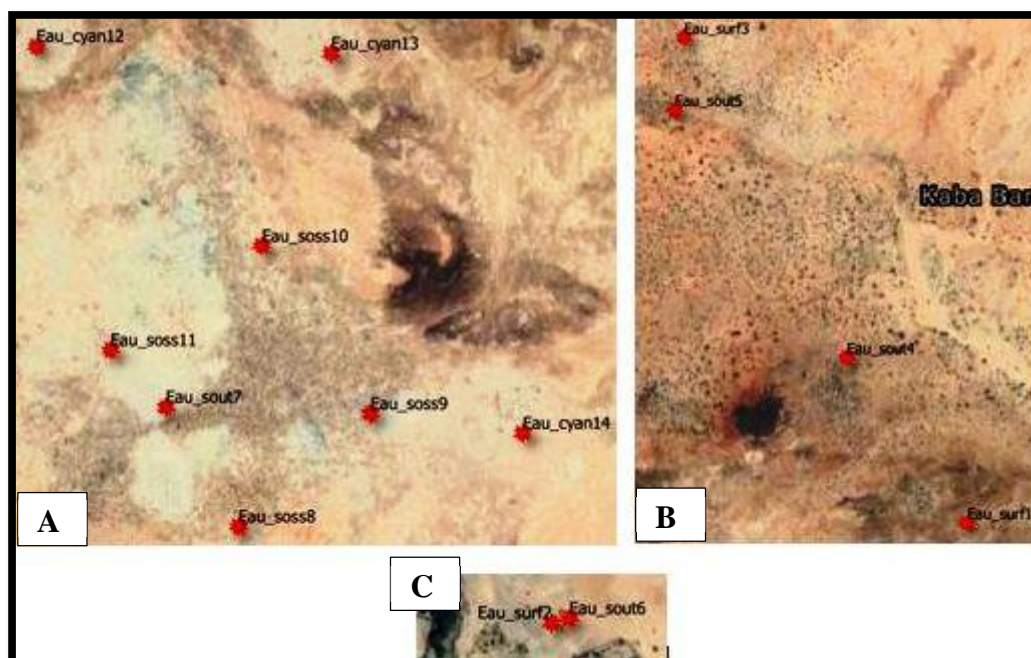
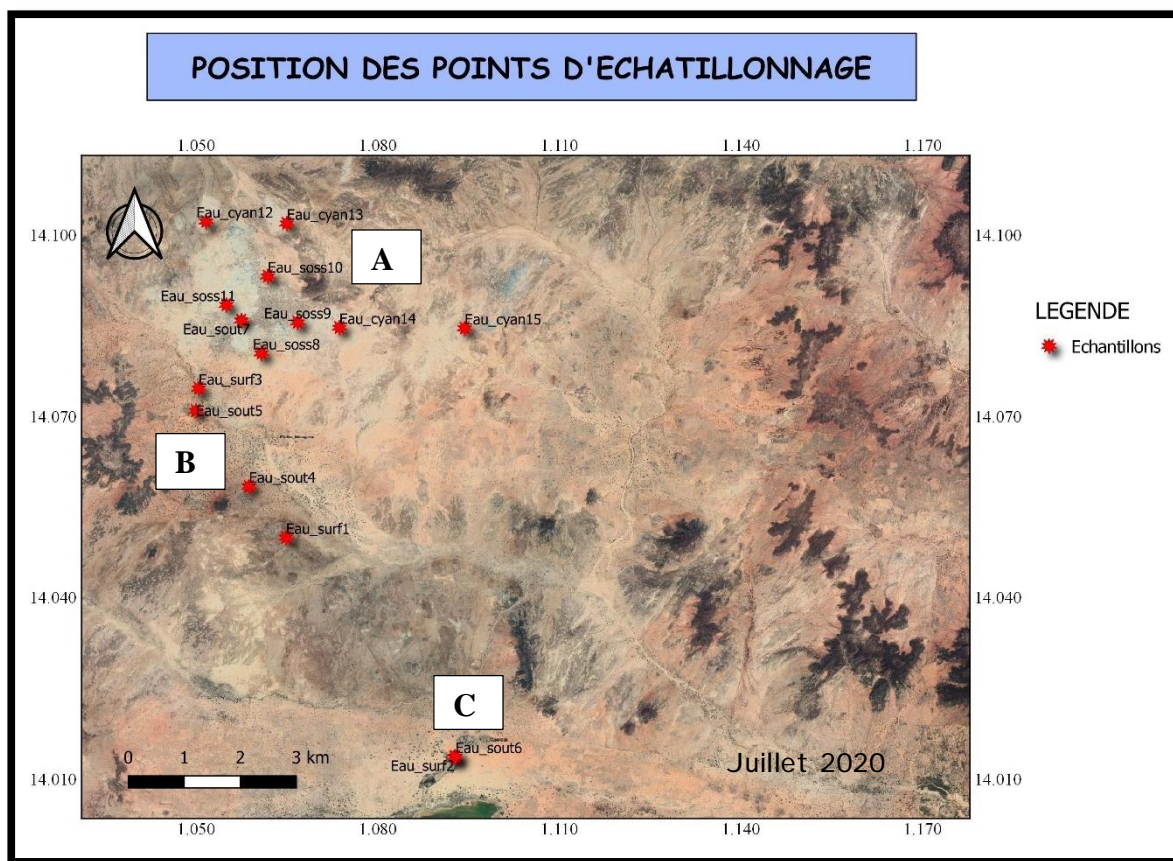


Figure 12: Position spatiale des points de prélèvement (Fond de carte Google Satellite)

Tableau 6: Teneurs moyennes des éléments traces métalliques (en mg/l) selon la nature des eaux

| ETM | Eau de cyanuration (n=4) | Eau de sossoriya (n=4) | Eau de surface (n=3) | Eau souterraine (n=4) |
|-----------|--------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| Al | 1458,99 a | 0,82 b | 0,049 c | 0,132 bc |
| As | 24,29 a | 0,02 b | 0,006 c | 0,019 b |
| Cd | 1,32 a | 0,001 b | 0,0003 c | 0,002 b |
| Co | 0,32 a | 0,017 b | 0,001 c | 0,002 c |
| Cu | 552,69 a | 0,04 c | 0,038 c | 0,275 b |
| Fe | 697,23 a | 0,6 b | 0,025 c | 0,052 c |
| Hg | 83,22 a | 0,38 b | 1,15 b | 1,393 b |
| Mn | 108,47 a | 1,6 b | 0,055 c | 0,098 c |
| Mo | 0,15 a | 0,02 a | 0,005 b | 0,01 a |
| Ni | 8,34 a | 0,02 b | 0,007 c | 0,019 b |
| Pb | 3,878 a | 0,012 b | <LQ* | 0,006 c |
| Zn | 7859,00 a | 33,15 b | 6,21 c | 42,18 b |

Source : (Tankari Dan-Badjo et al., 2014); *LQ= Limite de quantification

(a,b,c) : Les concentrations moyennes affectées par la même lettre et sur la même ligne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5%.

Douze (12) éléments traces métalliques (ETM) ont été analysés. Il s'agit de l'aluminium (Al), l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le cobalt (Co), le cuivre (Cu), le fer (Fe), le mercure (Hg), le manganèse (Mn), le molybdène (Mo), le nickel (Ni), le plomb (Pb), et le zinc (Zn).

Après avoir observé les résultats de ce tableau on remarque que la concentration des métaux est plus élevée dans les rejets des eaux de cyanuration que dans les rejets des eaux de sossoriya. Cependant, la concentration des métaux dans les eaux de surface (mares) et les eaux souterraines est beaucoup plus faible par rapport à celle des eaux de cyanuration et des eaux de sossoriya. Aussi, un seul élément, le Pb est en dessous de la limite de quantification (LQ).

Afin de déterminer une éventuelle pollution comparons les teneurs en ETM de ces eaux avec les normes en vigueur au Niger et sur le plan international (normes OMS).

Tableau 7: Comparaison des résultats d'analyse aux normes en vigueur (en mg/l)

| ETM | Eau de cyanuration (n=4) | N.N. | Eau de sossoriya (n=4) | N.N. | Eau de surface (n=3) | N. OMS | Eau souterraine (n=4) | N. OMS |
|-----------|--------------------------|-------------|------------------------|-------------|----------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|
| Al | 1458,99 | nd | 0,82 | nd | 0,049 | nd | 0,132 | nd |
| As | 24,29 | 0,1 | 0,02 | 0,1 | 0,006 | 0,01 | 0,019 | 0,01 |
| Cd | 1,32 | 0,02 | 0,001 | 0,02 | 0,0003 | 0,003 | 0,002 | 0,003 (0,005)* |
| Co | 0,32 | nd | 0,017 | nd | 0,001 | nd | 0,002 | nd |
| Cu | 552,69 | 1,0 | 0,04 | 1,0 | 0,038 | 2,0 | 0,275 | 2,0 (1,0)* |
| Fe | 697,23 | nd | 0,6 | nd | 0,025 | nd | 0,052 | Nd (0,3)* |
| Hg | 83,22 | 0,5 | 0,38 | 0,5 | 1,15 | 0,006 | 1,393 | 0,006 (0,001)* |
| Mn | 108,47 | nd | 1,6 | nd | 0,055 | nd | 0,098 | Nd (0,1)* |
| Mo | 0,15 | nd | 0,02 | nd | 0,005 | nd | 0,01 | nd |
| Ni | 8,34 | 1,0 | 0,02 | 1,0 | 0,007 | 0,07 | 0,019 | 0,07 |
| Pb | 3,878 | 0,5 | 0,012 | 0,5 | <LQ | 0,01 | 0,006 | 0,01 (0,05)* |
| Zn | 7859,00 | 1,0 | 33,15 | 1,0 | 6,21 | nd | 42,18 | nd (5)* |

Source : (Tankari Dan-Badjo & al., 2014)

N.N.= Norme nigérienne de rejet des déchets (MSP, 2004b) ; N.OMS= Norme OMS pour l'eau de boisson (WHO, 2011)

*Norme nigérienne pour l'eau de boisson (MSP, 2004a) ; nd= Non défini ; LQ= Limite de quantification

L'analyse des concentrations en ETM des eaux de cyanuration montrent que ces eaux sont beaucoup chargées en aluminium. La littérature scientifique signale la présence de cet élément dans les minerais et les sols (Tankari Dan-Badjo & al., 2013). Sa solubilisation est probablement due à l'acide cyanurique, l'acide nitrique et l'acide sulfurique utilisés dans le traitement. En effet la solubilité de l'aluminium dépend de la variation du pH. Il en va de même pour le cobalt, le fer, le manganèse et le molybdène.

L'arsenic, le fer et le cuivre ont pour origine le minerai aurifère. En effet, Machens (1964) avait annoncé dans ses travaux la présence de l'arsenic dans le minerai aurifère sous forme d'arsénopyrite et le cuivre sous forme de chalcopyrite. La pyrite et la pyrrotine ont été également signalées. La figure 13 montre la concentration en arsenic des eaux de cyanuration, des eaux de sossoriya, des eaux de surface et des eaux souterraines. Dans les eaux de cyanuration la teneur en arsenic qui est de 24,29 mg/l dépasse la norme nigérienne de rejet des eaux usées qui est de 0,1 mg/l. Cependant dans les eaux de sossoriya, elle est inférieure à la norme de rejet. La teneur en arsenic mesurée dans les eaux de surface (0,006 mg/l) est inférieure à la norme de l'OMS qui est de 0,01 mg/l. Par contre dans les eaux souterraines, la teneur en arsenic qui est de 0,019 mg/l dépasse la norme de l'OMS (0,01 mg/l).

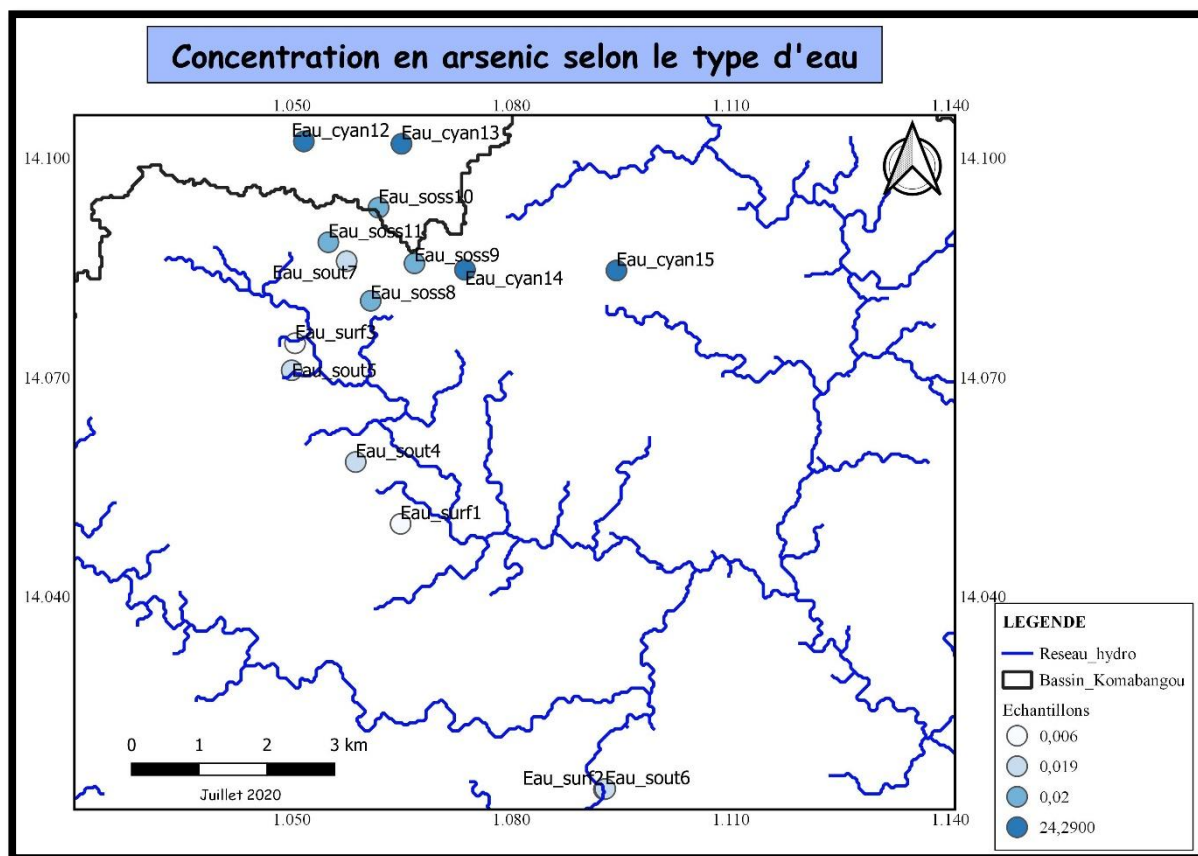


Figure 13: Carte de la concentration en arsenic selon le type d'eau

Le cadmium, le nickel et le zinc sont des éléments traces naturels dans le Liptako. L'utilisation des copeaux de zinc dans le traitement par cyanuration est une source anthropique pour ces éléments en plus du bruit de fond géochimique. Ces éléments chimiques d'origine naturelle et anthropique peuvent être drainés par ruissellement et atteindre les eaux stagnantes ainsi que la nappe phréatique par infiltration.

Le mercure n'a pas été signalé dans le Liptako bien que son clarke varie entre 0,05 et 0,08 g/t. Sa présence est donc purement anthropique et liée à son utilisation dans le but d'amalgamer l'or pendant le traitement. Sa concentration dans les eaux de cyanuration est de 83,22 mg/l nettement supérieure à la norme nigérienne de rejet des eaux usées dans l'environnement qui est de 0,5 mg/l (MSP, 2004b). Dans les eaux de sossoriya cette concentration est plutôt en dessous de la norme de rejet. Dans les eaux de surface et souterraine, la teneur en mercure est respectivement de 1,15 mg/l et 1,39 mg/l, bien supérieure à la norme de l'OMS qui est de 0,006 mg/l, la norme nigérienne (0,001 mg/l) étant plus sévère que celle de l'OMS. La figure 14 montre la variation de la teneur moyenne en mercure en fonction du type d'eau.

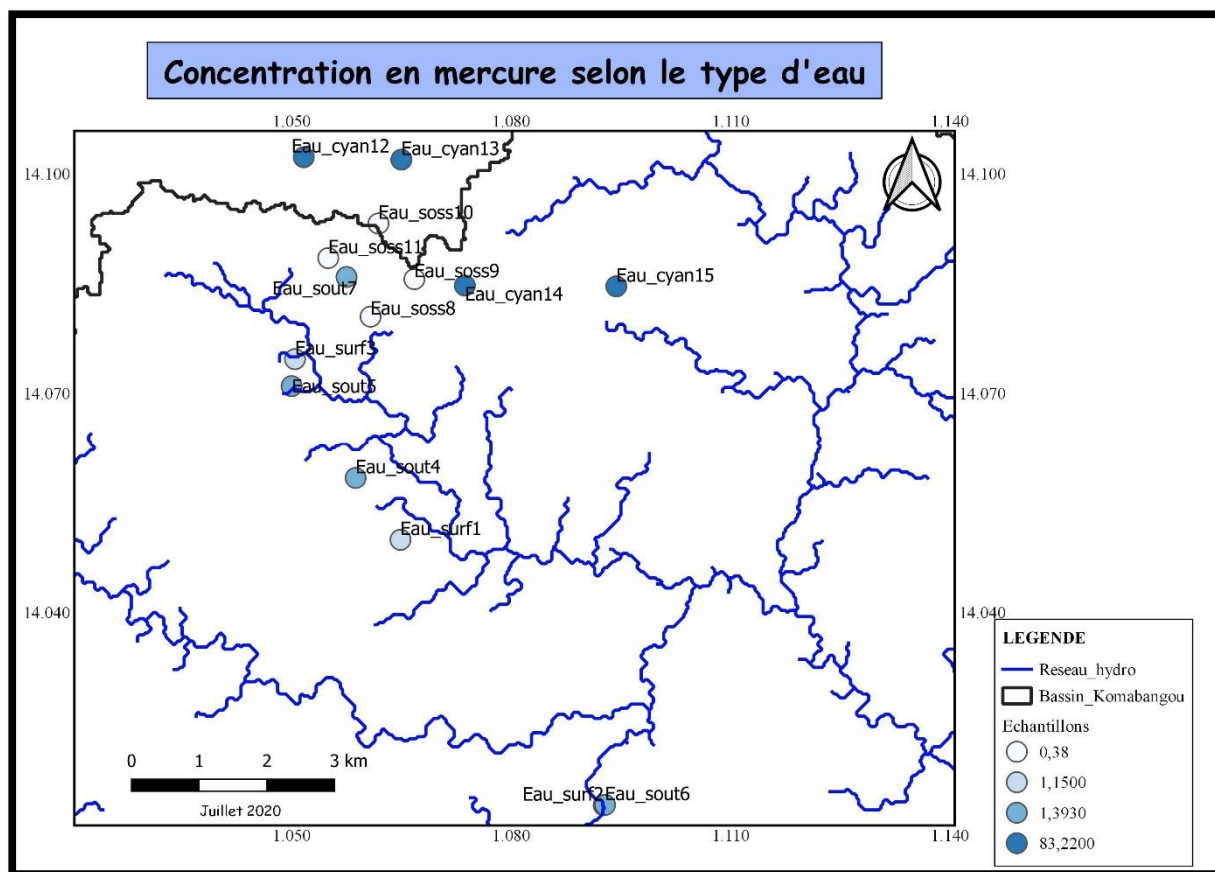


Figure 14: Carte de la concentration en mercure selon le type d'eau

La concentration en mercure trouvée dans les eaux de surface de Komabangou est nettement supérieure à celle trouvée dans les eaux des rivières en Côte d'Ivoire qui est en moyenne arithmétique de 6,09 ng/l avec un écart type de 4,96 ng/l (Mason et al., 2019). Cette concentration est également supérieure à celle trouvée par (Gerson & al., 2018) dans les eaux de rivière qui est de 2400 ng/l de mercure total dans la localité de Bantako au Sénégal. Cependant, le fait qu'à Komabangou l'eau est stagnante peut expliquer en partie cette différence.

La concentration en manganèse dans les eaux de cyanuration et sossoriya est respectivement de 108,47 mg/l et 1,6 mg/l. Elle chute à 0,055 mg/l et 0,098 mg/l respectivement dans les eaux de surface et les eaux souterraines. Ces valeurs sont en dessous de la norme nigérienne sur les eaux de boisson qui est de 0,1 mg/l. La source du manganèse est sûrement la roche lixiviée par les acides lors du traitement. En effet, partout en Afrique, le Birrimien contient du manganèse en lien avec la série volcano-sédimentaire qui abrite les filons de quartz aurifère.

La concentration en plomb dans les eaux de cyanuration est de 3,88 mg/l très largement au-dessus de la norme nigérienne sur le rejet des eaux dans l'environnement qui est de 0,5 mg/l. Il y a donc un grand risque que le rejet de ces eaux contamine l'écosystème. Dans les eaux de sossoriya, la concentration en plomb (0,012 mg/l) est inférieure à la norme. Dans les eaux de surface, l'analyse n'a pas détectée une concentration mesurable. Par contre dans les eaux

souterraines, cette concentration est de 0,006 mg/l bien inférieure à la norme OMS qui est de 0,01 mg/l. Cependant, le plomb étant très dangereux pour la santé humaine, sa teneur est à surveiller de près surtout que le ruissellement des eaux de cyanuration peut entraîner à long terme une augmentation de sa concentration dans les eaux souterraines. La figure 15 donne la concentration moyenne en plomb des différents points de prélèvement.

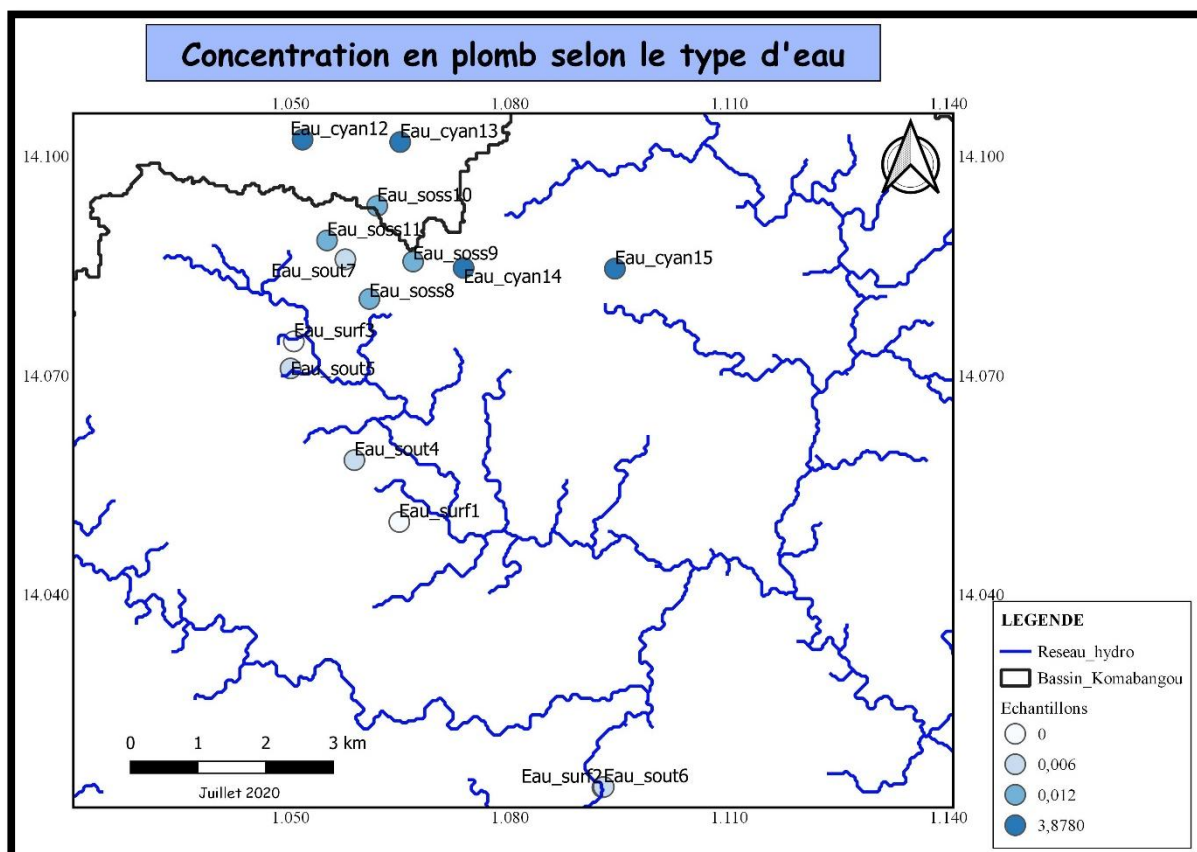


Figure 15: Carte de la concentration en plomb selon le type d'eau

La concentration en zinc est énorme dans les eaux de cyanuration (7859 mg/l) alors que la norme nigérienne de rejet des eaux usées dans l'environnement fixe cette teneur à 1 mg/l (cf figure 16). La concentration en zinc dans les eaux de sossoriya qui est de 33,15 mg/l est également supérieure à la norme nigérienne de rejet. Cette teneur très élevée vient de l'utilisation des copeaux de zinc dans le traitement par cyanuration. Les différents acides utilisés (HNO_3 et H_2SO_4) contribuent à lixivier cet élément et augmenter sa concentration dans les eaux. Dans les eaux de surface et souterraine la concentration en zinc est respectivement de 6,21 mg/l et 42,15 mg/l. Ces valeurs sont supérieures à la valeur limite fixée par la norme nigérienne qui est de 5 mg/l. Bien que le zinc soit un oligo-élément pour les plantes et important aussi pour la vie humaine, une surconcentration en zinc ou composé zincifère dans un environnement empêche le développement normal des plantes.

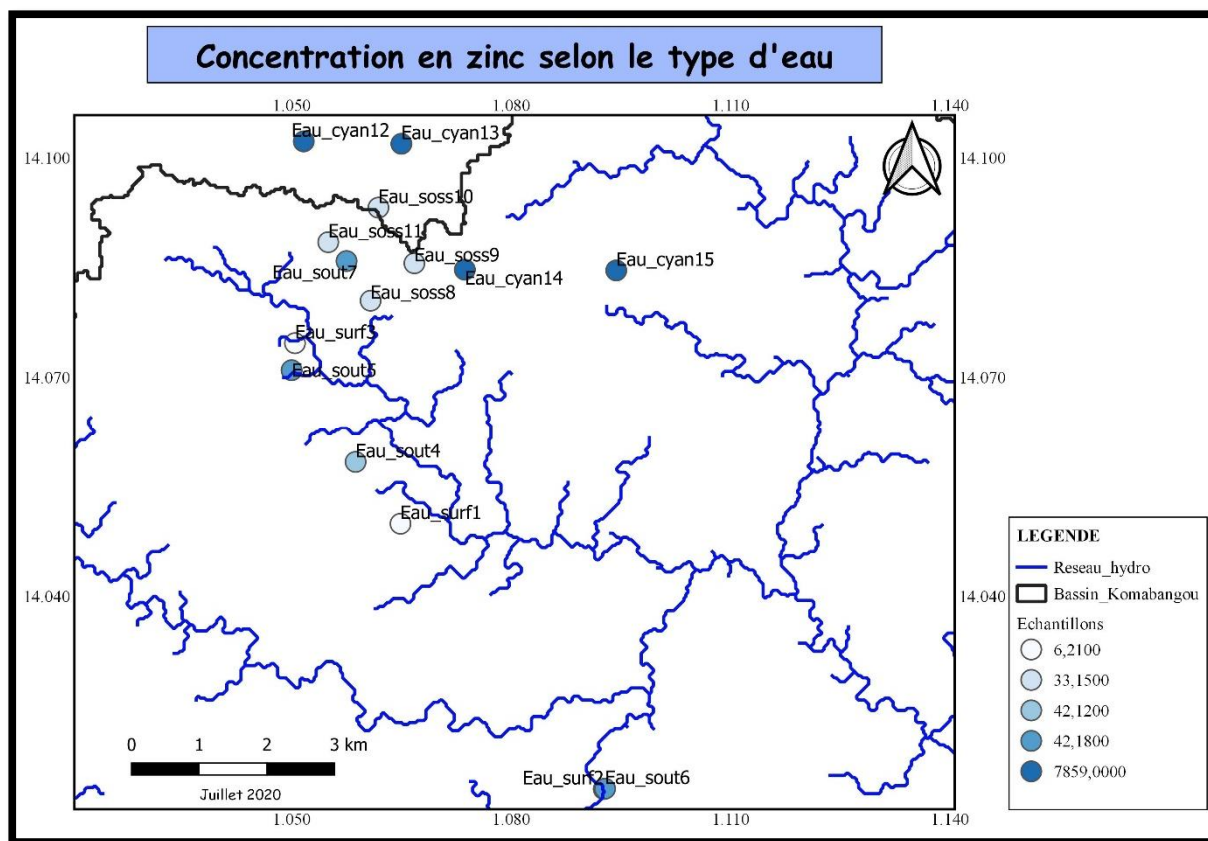


Figure 16: Carte de la concentration en zinc selon le type d'eau

Les insuffisances de la méthode

Tankari Dan-Badjo et al., (2014) avaient utilisé dans cet article, la méthode ICP-MS pour déterminer la concentration des ETM. La spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) est une méthode permettant de déterminer les métaux solubles dans les eaux. Cependant, il faut noter que des interférences polyatomiques et isobariques peuvent perturber la méthode ICP-MS (Darrouzès & McCurdy, 2006). Des erreurs d'interprétations peuvent se glisser lorsque deux éléments différents ont la même masse atomique (Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec, 2014). Une marge d'erreur, quoique faible est donc à prévoir dans l'appréciation de ces valeurs.

2.1.2 Le cyanure

Le cyanure est un produit chimique utilisé dans la séparation chimique de l'or. Ce produit convient bien au traitement du minerai d'or de faible teneur (0,2 g/tonne). A Komabangou le cyanure est utilisé afin de traiter le rejet de traitement issu de sossoriya (Tankari Dan-Badjo et al., 2014). Le cyanure est ajouté dans un mélange de minerai d'or et de l'eau. A Komabangou le dosage en cyanure est d'environ de 200 ml pour 200 l de mélange de minerai. En réalité les orpailleurs utilisent 300 g à 2000 g de cyanure (Moisan & Blanchard, 2012). A la fin de la chaîne de traitement, une partie de la solution cyanurée est recyclée, tandis qu'une autre partie est rejetée dans la nature sans aucun traitement préalable.

Le cyanure est un élément toxique dont la demie vie dans l'atmosphère est de 1,4 à 2,9 années (Moisan & Blanchard, 2012). En présence de l'hydrogène dans l'atmosphère, le cyanure peut être inhalé très rapidement (en quelque seconde). La combinaison du CN^- et du fer dans l'organisme empêche l'oxygénation du sang et peut très rapidement conduire à la mort. La dose létale est d'environ 100 ppm par inhalation. Etant donné qu'à Komabangou les orpailleurs n'utilisent pas suffisamment des équipements de protection, le cyanure peut se retrouver dans l'air pendant le mélange et être inhalé par les opérateurs ainsi que les personnes se trouvant aux alentours.

La mobilité du cyanure dépend beaucoup du pH du milieu. Au-dessus de 9,3 la forme ionique est moins mobile. Lorsque le pH est en dessous de 8, il devient plus mobile. En présence de l'oxygène de l'air, le cyanure peut être dégradé complètement avec le temps. Dans l'eau souterraine le cyanure est moins mobile avec la diminution du taux de l'oxygène. La dose létale par ingestion est d'environ 180 mg/l (Moisan & Blanchard, 2012). Selon INERIS (2011) la valeur limite indicative pour l'eau de boisson est de 50 $\mu\text{g/l}$ pour les cyanures totaux.

Le cyanure est versé au sol et se retrouve dans les mares suite au ruissellement. Bien qu'il existe une certaine réglementation au Niger sur l'utilisation de ce produit toxique, le non-respect de ces mesures sur le terrain est une source d'inquiétude et une préoccupation à laquelle l'administration des mines devra s'y pencher pour trouver une solution. En effet d'après une analyse réalisée par Hassane et al., (2018), dans la zone d'exploitation industrielle de Samira², la concentration dans les eaux souterraines varie de $1,96\pm 15 \mu\text{g/l}$ à $4,8\pm 0,63 \mu\text{g/l}$ de cyanure total³ bien inférieure à la norme nigérienne sur l'eau de boisson (50 $\mu\text{g/l}$). Dans les eaux de surface, la concentration du cyanure qui est de $0,88\pm 0,00 \mu\text{g/l}$ est inférieure à celle des eaux souterraines.

En revanche, dans les effluents, cette concentration atteint rapidement $945,67\pm 2,5 \mu\text{g/l}$ à $37057,00\pm 51,73 \mu\text{g/l}$. Ces valeurs sont supérieures à la norme nigérienne de rejet des eaux usées dans l'environnement qui est de 100 $\mu\text{g/l}$. Cette situation est semblable à celle qui caractérise l'utilisation du cyanure dans l'orpaillage dans le Liptako à quelque différence près. Tandis que sur le site industriel de Samira les effluents sont stockés dans un bassin, sur le site de Komabangou, une grande partie est rejetée directement dans l'environnement sans aucun traitement. Le ruissellement de ces rejets pourra conduire dans le futur à des teneurs en cyanure total supérieures à la norme de consommation. Notons aussi que les eaux souterraines de la zone de Samira ne contenaient pas de cyanure avant le début de l'exploitation (Hassane & al., 2015).

2.2 Impacts de l'orpaillage sur le sol

L'exploitation artisanale de l'or est une activité qui laisse souvent des séquelles au sol. La recherche et l'extraction du minerai aurifère s'effectue au moyen des trous creusés dans le sol.

² Mine à ciel ouvert (MCO) de la Société des Mines du Liptako

³ Méthode d'extraction par distillation

La morphologie du site de Komabangou donne l'allure d'une surface perforée par des trous espacés par de faibles distances les uns des autres (cf photo 6A).

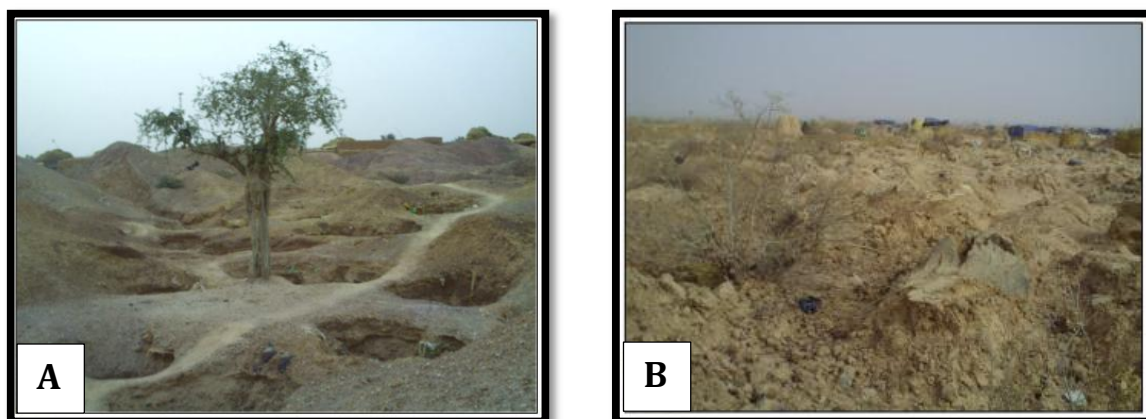


Photo 6 : A-Champ de trous d'orpaillage ; B-Dépôt de résidus de traitement (Photos Djibrilla 2017)

Une fois que l'exploitation des filons est terminée les sites sont abandonnés en l'état sans aucune réhabilitation. Les trous sont laissés ouverts et les alentours sont jonchés des déblais et les résidus de traitement (cf photo 6B). Ainsi le site est impropre non seulement à l'agriculture mais aussi au pâturage. Le site de Komabangou étant une zone agropastorale, ces deux activités risquent de connaître une baisse sensible dans les années à venir si aucune disposition n'est prise pour en juguler les conséquences.

Une autre conséquence de l'abandon des trous de mine sans réhabilitation est l'impraticabilité du terrain. En effet, du fait de la présence des trous, le terrain devient impraticable pour les engins à moteur à deux ou quatre roues de même que pour les charrettes. La traversée piétonne est parfois aussi impossible. Aussi, les bergers qui s'aventurent à traverser les sites d'orpaillage abandonnés courent le risque d'être blessés ou de blesser leurs animaux.

L'utilisation des produits chimiques comme le mercure et le cyanure dans le traitement de l'or a de grave conséquence sur l'environnement. En effet, en dépit de l'existence des textes fixant les normes de rejet des certaines substances chimiques dans l'environnement (MSP, 2004b), ces produits ainsi que des effluents acides sont versés directement sur le sol par les orpailleurs (cf photo 7). Ces produits comprenant des métaux lourds dangereux pour la santé humaine et toxique à l'environnement se retrouvent lessiver et transporter dans les eaux de surface. La population qui parfois utilise cette eau est ainsi exposée aux effets néfastes de ces produits par contact dermatologique ou par ingestion de l'eau contaminée mais aussi à travers la consommation de la viande ou des produits laitiers des animaux qui viennent à s'abreuver au niveau des mares.



Photo 7 : Copeaux de zinc déversés au sol (Photo Ibrahim 2019)

En 2019 Ibrahim et al., avaient analysé des échantillons de sol de Komabangou afin de déterminer la répartition spatiale de la concentration des ETM. Vingt-sept (27) sites ont fait l'objet de prélèvement d'échantillons de sol entre 0 et 30 cm de profondeur. Le sol a été partagé en trois (3) classes à savoir sols miniers (prélèvement sur les sites d'orpaillages), sols en périphérie de mine (à cheval entre site d'orpaillage et zone hors orpaillage) et sols hors zone minière servant de contrôle. Les ETM suivants ont été recherchés dans les échantillons : l'arsenic, le cadmium, le cobalt, le nickel, le plomb, le cuivre, le chrome et le zinc. La figure 17 montre les concentrations en ETM dans les trois (3) classes de sols.

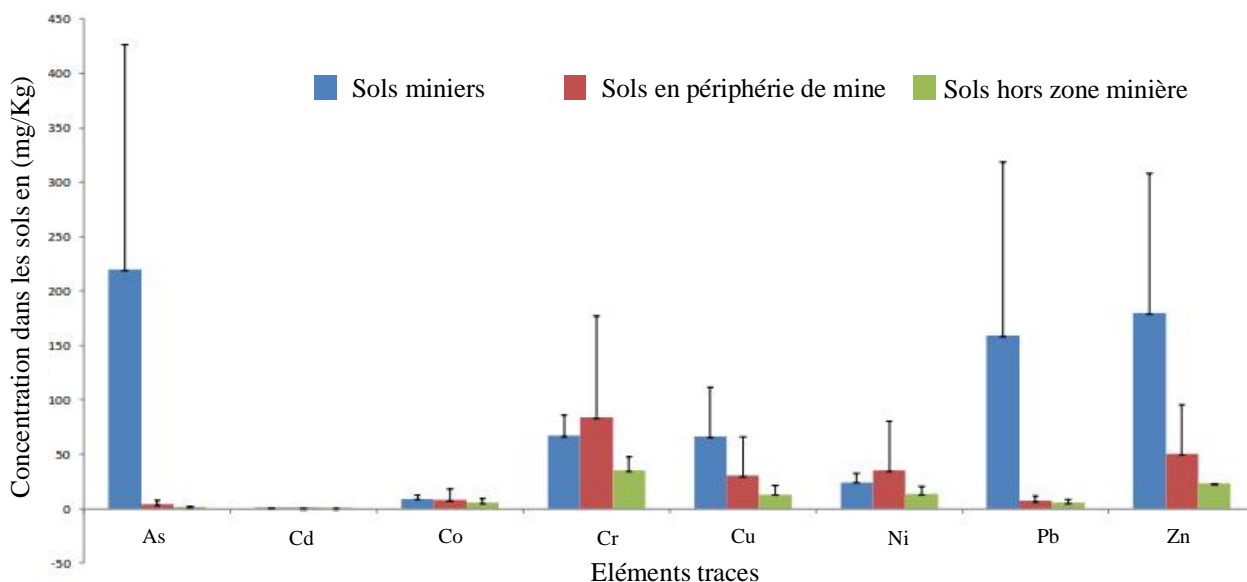


Figure 17: Concentrations en ETM dans les sols de Komabangou en fonction des sites de prélèvement (Ibrahim et al., 2019)

Les résultats montrent clairement qu'en dehors du chrome et du nickel, la concentration en ETM est plus élevée sur les sites d'orpaillage. Elle décroît en périphérie des sites pour se résoudre au minimum dans les sols hors zone minière, sûrement liée en ce moment-là au bruit

de fond géochimique. Cette étude prouve à suffisance que l'extraction artisanale de l'or sur le site de Komabangou est une source de pollution en ETM.

Après avoir déterminé la concentration en ETM, un index de pollution (IP) sur les différents types des sols a été calculé afin de déterminer l'existence d'une éventuelle pollution polymétallique.

Tableau 8: Index de pollution dans les sols à Komabangou

| Nom des emplacements | N° échantillon | Classe de sol | Valeur de l'index de pollution |
|----------------------|----------------|-----------------------|--------------------------------|
| Namga | ES1 | Sol zone périphérique | 1,11 |
| Namga | ES2 | Sol zone périphérique | 1,13 |
| Namga | ES3 | Sol zone périphérique | 0,20 |
| Namga | ES4 | Sol zone périphérique | 0,14 |
| Namga | ES5 | Sol zone périphérique | 1,03 |
| Zoribi | ES6 | Sol zone périphérique | 0,16 |
| Zoribi | ES7 | Sol zone périphérique | 0,17 |
| Kokorou | ES8 | Sol zone périphérique | 0,06 |
| Forage Komabangou | ES9 | Sol zone périphérique | 0,15 |
| Forage souboukougou | ES10 | Sol zone périphérique | 0,12 |
| Boura | ES11 | Sol zone périphérique | 0,43 |
| Boura | ES12 | Sol zone périphérique | 0,24 |
| Kounhou | ES13 | Sol zone périphérique | 0,26 |
| Kounhou | ES14 | Sol zone périphérique | 0,24 |
| Kounhou | ES15 | Sol zone périphérique | 0,09 |
| Grillage El Saadou | ES16 | Sol zone minière | 4,43 |
| Grillage Bidon | ES17 | Sol zone minière | 12,31 |
| Grillage Morey | ES18 | Sol zone minière | 10,26 |
| Grillage Baba Djallo | ES19 | Sol zone minière | 3,10 |
| Nakia Sossoriya | ES20 | Sol zone minière | 1,10 |
| Maijamaa Sossoriya | ES21 | Sol zone minière | 1,33 |
| Abdallah Sossoriya | ES22 | Sol zone minière | 3,49 |
| Banbara Sossoriya | ES23 | Sol zone minière | 17,84 |
| Gawado Sossoriya | ES24 | Sol zone minière | 1,35 |
| Bandjo | ES25 | Sol hors zone minière | 0,06 |
| Dargol | ES26 | Sol hors zone minière | 0,22 |
| Kakassi | ES27 | Sol hors zone minière | 0,46 |

Source : (Ibrahim et al., 2019)

L'IP varie de 0,06 dans les sols hors zone minière à 17,84 dans les sols en zone minière (cf tableau 8). Parmi les vingt-sept (27) points analysés, douze (12) ont un IP>1 (IP>1 indique déjà une pollution polymétallique). La valeur de l'IP varie pour ces 12 points de 1,03 à 17,84. Tous les échantillons de sol de la zone minière présente un IP supérieur à 1 (cf tableau 8). Ces valeurs témoignent d'une forte pollution à Komabangou, pollution qui pourra s'étendre loin de la source par ruissellement des eaux et dégagement des poussières. Ces résultats confirment les teneurs en ETM dans les eaux.

En 2014 Birane Niane concluait dans une étude réalisée dans la région de Kédougou au Sénégal que l'exploitation artisanale de l'or contribue incontestablement à polluer le sol. Les analyses effectuées montraient une teneur en mercure dans les sols des sites miniers de l'ordre de 10 (THg)mg/Kg de sol alors que sur les sites de contrôle, cette dernière n'est que de l'ordre de 0,1 à 1 (THg)mg/Kg de sol (Niane et al., 2014).

2.3 Impacts de l'orpaillage sur le couvert végétal

A Komabangou la profondeur des trous d'orpaillage dépasse parfois 10 m qui est la profondeur limite définie par les dispositions du code minier. Pour prévenir le risque d'éboulement, les orpailleurs utilisent le bois afin de soutenir les parois du trou (cf photo 8A et B). Ce bois est coupé directement sur le site ou sur le terrain environnant. Ainsi ce sont de grandes quantités de bois qui sont coupées afin de conduire l'activité d'orpaillage. Le bois est également utilisé pour construire les hangars dans lesquelles se font les opérations de broyage de la roche et lavage du minerai d'or (cf photo 9).



Photo 8 : A- Préparation de bois pour les trous d'orpaillage ; B- Soutènement des parois du trou d'orpaillage. (Photos Djibrilla 2017)

Une partie du bois qui est coupé sur le site sert plutôt de bois chauffe.



Photo 9 : Hangars servant aux travaux de broyage et lavage du minerai (Photo Djibrilla 2017)

Selon une enquête réalisée par (Djibrilla, 2017), certaines plantes sont menacées par les coupes effectuée par les orpailleurs. Le tableau 9, recense un certain nombre d'espèces de plantes menacées de disparition dans le Liptako.

Tableau 9: Liste de quelques espèces de plantes menacées de disparition

| Noms scientifiques des plantes | Noms des plantes en Zarma-Sonrai | Noms scientifiques des plantes | Noms des plantes en Zarma-Sonrai |
|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| <i>Adansonia digitata</i> | Kogna | <i>Lannea microcarpa</i> | Fallounfagna |
| <i>Tamarindus indica</i> | Bosseygna | <i>Ficus gnaphalocarpa</i> | Djeldjegna |
| <i>Combretum nigricans</i> | Deligna | <i>Cassia siberiana</i> | Sissinagna |
| <i>Sclerocarya birrea</i> | Dineygna | <i>Guiera senegalensis</i> | Sabara |
| <i>Acacia nilotica</i> | Binsingna | <i>Combretum micranthum</i> | Koubou / Tingalé |
| <i>Sterculia setigera</i> | Tarkoundégna | <i>Diospyros mespiliformis</i> | Tokeygna |
| <i>Kigelia africana</i> | Kombey | <i>Bombax costatum</i> | Forgo |
| <i>Maytenus senegalensis</i> | Marhanga | <i>Prosopis africana</i> | Zamtouri |
| <i>Pterocarpus erinaceus</i> | Tollo | | |

Source : (Djibrilla, 2017)

La disparition progressive de la végétation va progressivement impacter le micro climat du site : augmentation de la vitesse de vent au sol, augmentation de l'évaporation, augmentation des variations de la température et du coefficient de ruissellement. La diminution de la végétation peut directement impacter la superficie des terres cultivables et induire une baisse de rendement. L'augmentation du ruissellement va aussi exacerber la baisse des rendements agricoles à travers le transport des sédiments et de la matière organique indispensables au développement des cultures. Plus généralement, l'augmentation du ruissellement participe au transport et à l'ensablement du fleuve Niger. En effet, la topographie du site et du Liptako en général est décroissante du Nord-Ouest vers le Sud-Est en direction du fleuve. Tous les sédiments érodés à partir du site terminent leur course au niveau du fleuve, ce qui contribue à réduire le lit du fleuve ainsi que son débit.

Notons aussi qu'en sus du dommage physique, le déversement dans l'environnement des eaux chargées en ETM peut être à l'origine d'une toxicité dans les plantes à travers une bio assimilation. Le cheptel peut ainsi être exposé à un risque de contamination aux ETM de même que la population à travers la consommation des feuillages ou fruits.

2.4 Impacts de l'orpaillage sur la santé humaine (aspects généraux)

Passons en revue les conséquences sur la santé humaine des éléments suivants : le mercure, l'arsenic, le plomb, le cyanure ainsi que les poussières de silice.

2.4.1 Le mercure

Le mercure élémentaire et le méthyl mercure sont très dangereux pour la santé humaine et pour l'environnement. L'inhalation des vapeurs de mercure peut être à l'origine des troubles neurologiques et comportementaux (Tomicic & al, 2011). Les troubles gastriques, vomissement et diarrhée, perte de mémoire, tremblement ou troubles neuromusculaires et

rénaux sont attribués aussi à l'inhalation, l'ingestion ou le contact dermique du mercure (OMS, 2017), (Thomassin, Touzé, & with the collaboration of Baranger, 2003). En dépit de ces effets neurotoxiques, le mercure a des conséquences néfastes sur le fœtus et le nourrisson (Programme des Nations Unies pour l'Environnement, 2017). Lors du brûlage de l'or spongieux à l'air libre, les orpailleurs ainsi que toutes personnes se trouvant autour peuvent inhaler de grandes quantités jusqu'à 80% des vapeurs de mercure (Richard, Moher, & Telmer, 2014). Les vapeurs de mercure peuvent rester sur les habits, les chaussures et peuvent donc être respirées longtemps après l'opération. Aussi, le vent peut transporter une grande quantité de vapeur loin du lieu d'émission où elle peut se déposer sur les habitations, les végétaux et le sol.

Le déversement des eaux de sossoriya et de cyanuration peut aussi être à l'origine de la contamination de l'environnement et au-delà de la chaîne alimentaire. En effet le mercure élémentaire (Hg^0) en milieu réducteur va passer sous la forme méthyl mercure et infiltrer la chaîne alimentaire.

C'est donc conscient du danger que représente le mercure pour la santé humaine et l'environnement et conscient de l'utilisation incontrôlée du mercure dans l'exploitation artisanale de l'or que la Convention de Minamata est entrée en vigueur le 16 août 2017 afin de limiter et contrôler l'utilisation de ce produit chimique qui est à l'origine du drame de la baie de Minamata au Japon.

2.4.2 L'arsenic

L'arsenic est un élément toxique qui peut être à l'origine des problèmes dermatologique au bout de 5 années d'exposition (WHO, 2011). L'ingestion de l'arsenic à travers l'eau de boisson peut causer une neuropathie périphérique, les cancers de la peau, de la vessie et des poumons. Des problèmes du système cardiovasculaire ont également été observés chez des enfants consommant une eau contaminée à l'arsenic.

A Komabangou la concentration en arsenic dans les eaux souterraines est de 0,019 mg/l légèrement supérieure à la norme de l'OMS qui est de 0,01 mg/l. La teneur en arsenic est donc un paramètre à surveiller de près puisque la limite admissible déjà atteinte.

2.4.3 Le plomb

Le plomb est un élément chimique nuisible à la santé humaine. D'après une étude de l'OMS l'exposition au plomb peut causer des maladies cardiovasculaires, des problèmes rénaux, et une baisse de la fertilité (WHO, 2011). L'exposition au plomb peut aussi causer des problèmes de développement corporel chez les enfants. Le cas de Zamfara au Nigeria est très édifiant à ce sujet puisque de nombreux enfants dans plusieurs villages étaient morts suite à l'exposition au plomb provenant des poussières issues de l'activité d'extraction artisanales de l'or. Selon l'OMS (2017) 400 enfants étaient morts du saturnisme et plus de 3000 enfants ont été intoxiqués au plomb.

La concentration du plomb dans les eaux souterraines du site d'étude est 0,006 mg/l, bien inférieure à la norme de l'OMS qui est de 0,01 mg/l. Cependant, dans les eaux de cyanuration

elle est de 3,878 mg/l largement supérieure à la norme nigérienne sur le rejet des eaux dans l'environnement qui est de 0,5 mg/l (MSP, 2004b). Il y a donc lieu de s'inquiéter sérieusement à ce sujet vu que les orpailleurs sont en contact permanent avec cette eau et qu'en plus des femmes et enfants travaillent sur le site. Bien que le rejet de l'eau de cyanuration n'ait pas montré une contamination des eaux de surface (mares), cela pourrait arriver dans le futur puisque le rejet est continu. Il faut également noter que dans cette zone, l'eau de surface est à une certaine période de l'année, la seule source d'eau pour le bétail mais aussi pour les tâches ménagères comme la vaisselle et le linge.

2.4.4 Le cyanure

Le cyanure est un élément très toxique. L'exposition au cyanure d'hydrogène peut causer des troubles neurologiques notamment des vertiges, des confusions, des céphalées et peut rapidement conduire à la mort en cas d'intoxication aigue. Le contact dermique peut entraîner une irritation de la peau. Les vapeurs du cyanure d'hydrogène peuvent quant à elles entraîner une irritation oculaire. Bien que certaines études évoquent une létalité à partir de 180 mg/l, INRS, (2018) considère qu'une absorption d'une dose totale de 50 à 100 mg de cyanure d'hydrogène suffit à entraîner la mort chez un adulte. Les effluents de la SML peuvent contenir plus de 37 mg/l. Les effluents des orpailleurs étant sans protection, une ingestion accidentelle peut facilement causer de sérieux troubles sanitaires.

Sur le site de Komabangou le non-respect des mesures sécuritaires et de la protection de l'environnement a déjà conduit à la mort d'un jeune employé d'une équipe ainsi que la mort de nombreux animaux, avait rapporté un représentant des orpailleurs du site [1]. Le non-respect des mesures sécuritaires concernant la manipulation du cyanure est donc est un réel motif de préoccupation sur le site de Komabangou.

2.4.5 La silice

Pendant les phases de broyage et tamisage du minerai aurifère, d'énormes quantités de poussières se dégagent et se répandent dans l'atmosphère ambiante (cf photo 4A et B). Etant donné que le gisement aurifère est filonien et associé aux injections des veines de quartz, les opérations précédemment énumérées libèrent également de la silice (SiO_2). L'inhalation des poussières de silice peut être à l'origine de nombreuses pathologies comme la rhinite, sinusite, ou des manifestations broncho-pleuro-pulmonaires avec complication cardiaque (Moussa, Saadé, & Sékou, 1997). La silicose est la pathologie la plus connue liée à l'inhalation des poussières de silice. Le risque silicotique peut survenir plusieurs années après l'exposition d'où la nécessité de prendre des mesures de protection afin de protéger les travailleurs ainsi que les enfants qui sont dans la plupart de temps présents également sur les sites d'orpaillage. Bien que les mesures d'empoussiérage n'ont pas été effectuées sur le site de Komabangou, il y a lieu de se pencher sur la sensibilisation des orpailleurs sur le risque silicotique au vu des énormes quantités de poussières qui se dégagent pendant les phases de broyage et tamisage du minerai et surtout que le législateur nigérien a fixé la quantité de poussière admissible en fonction du taux de silice. En effet, l'article 15 de l'arrêté N°140/MSP/LCE/DGSP/DS/DH fixant les normes de rejet des déchets dans le milieu naturel précise que lorsque la dimension des

particules est comprise entre 0,5 et 5 µm les concentrations des poussières admissibles sont les suivantes :

- 5 mg/m³ pour les poussières contenant moins de 6% de silice ;
- 2 mg/m³ pour les poussières contenant 6% à 25% de silice pour une durée de 8h de travail ;
- 1 mg/m³ pour les poussières contenant plus de 25% de silice.

2.5 Impacts de l'orpaillage sur le revenu

L'exploitation artisanale de l'or est incontestablement une activité polluante. Les conséquences négatives qu'elle génère sur l'environnement et la santé humaine en général et à Komabangou en particulier sont indéniables (Tankari Dan-Badjo et al., 2014)(Djibrilla, 2017). Cependant, l'orpaillage a aussi des impacts positifs sur la vie des orpailleurs et leur famille. Pour se rendre compte de cet impact, examinons les chiffres de production artisanale d'or dans le Liptako (cf tableau 10).

Tableau 10: Production artisanale et industrielle d'or dans le Liptako

| INDICATEURS DE SUIVI | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | Total |
|-------------------------------------------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|
| Quantité d'or issue de l'orpaillage (Kg) | 504 | 89,02 | 108,86 | 95,358 | 397,1 | 412,20 | 1606,538 |
| Quantité d'or industriel produite (Kg) | 1 453 | 1 549 | 962 | 668 | 877 | 1 271 | 6 780 |
| Rapport production orpaillage/industrielle (%) | 34,69 | 5,75 | 11,32 | 14,28 | 45,28 | 32,43 | 23,70 |

Source : Ministère des Mines, Mai 2018

L'analyse de ces chiffres montre une variation interannuelle de la production artisanale d'or. La production artisanale de l'or a significativement diminué en 2012 par rapport à 2011 pour ensuite augmenter en 2015 et 2016 après une légère baisse en 2014. Sur les six (6) années, la production artisanale moyenne de l'or représente environ le quart de la production industrielle. Ce chiffre indique que l'orpaillage génère des revenus aux orpailleurs. Aussi, l'augmentation relative de la population de Téra entre 2013 et 2017 peut suggérer l'accroissement d'un impact positif sur la vie des orpailleurs quoique seules les statistiques sur le nombre d'orpailleurs dans le Liptako pourront confirmer cette assertion.

D'après l'administration des mines, le nombre de nouvelles autorisations d'exploitation minière artisanale de l'or est passé de deux (2) en 2017 et 2018 à 10 en 2019. Les prévisions de cette même administration indiquent que plus cent (100) autorisations d'exploitation minière artisanale vont être octroyé en 2020. Les recettes issues de diverses taxes sont passées de 430,16 millions en 2017 à 1,14 milliards en 2019. Cette nette augmentation des recettes fiscales suggère également soit une augmentation du nombre et/ou des revenus des orpailleurs soit alors une amélioration du taux de recouvrement des taxes par les services de l'Etat. Dans tous les cas, l'orpaillage a un impact positif sur la vie des orpailleurs mais aussi pour les caisses de l'Etat.

D'après (Djibrilla, 2017), les impacts suivants sont attribuables à l'activité d'orpaillage dans le Liptako :

- L'orpaillage est un moyen de lutte contre l'exode rural. En effet l'extraction artisanale de l'or a attiré beaucoup de bras valides. Ces derniers se sont livrés à cette activité en abandonnant leur projet qui consistait à une certaine période de l'année, à rejoindre les grandes villes comme Niamey ou les villes voisines à la recherche du travail ;
- L'activité d'orpaillage a également contribué à l'extension et la création de nouveaux villages aux alentours des sites ;
- L'amélioration de la disponibilité en eau grâce aux puits qui atteignent parfois la nappe souterraine. Ainsi certains villages qui parcouraient parfois plus de 10 Km pour chercher de l'eau transforment ces puits d'orpaillage en une source d'approvisionnement en eau ;
- Le développement de commerce autour des sites. Plusieurs activités commerciales sont nées aux alentours des sites d'exploitation artisanale fournissant aux orpailleurs en particulier et à la communauté villageoise en général des produits dont ils ont besoin sans parcourir de grandes distances. Ces sites sont aussi devenus des débouchés pour les produits locaux ;
- L'amélioration du niveau de vie des personnes exerçant l'orpaillage. Ceci se traduit par l'acquisition d'immobilier, la facilité de s'acquitter de l'impôt ou encore la construction des édifices culturels ou religieux. En effet ces derniers se rencontrent moins dans les villages qui ne pratiquent pas l'orpaillage ;

III. MATRICE D'IMPACTS

La matrice d'impact est une grille à double entrée permettant de croiser les différentes phases d'activités de l'exploitation artisanale de l'or et les composantes du milieu qui interagissent avec ces activités. L'objectif étant de permettre l'identification, la caractérisation et l'évaluation des impacts de l'orpaillage sur les différentes composantes du milieu physique et humain.

Il existe plusieurs types de matrice d'évaluation des impacts. La matrice de Léopold est l'une des premières versions mis en œuvre à cet effet (Galvez-Cloutier, 2008). C'est un tableau qui comprend cent (100) activités possibles auxquelles ont été associées quatre-vingt-huit (88) éléments de l'environnement (Léopold, 1971). Une matrice d'impact réussie est une grille pour laquelle les critères d'évaluation ont été clairement définis par l'auteur et ne prêtent à aucune confusion dans l'appréciation des indicateurs de mesure. Mieux, les éléments d'appréciation doivent être beaucoup plus objectifs que mathématiques.

Afin d'évaluer les impacts de l'orpaillage sur le site de Komabangou, il sera associé aux dimensions environnementale et humaine, les différentes phases de l'exploitation artisanale de l'or.

Pour mettre en place la matrice d'impact, la description des impacts de l'orpaillage sur les eaux de surface, les eaux souterraines, le sol, la végétation, la santé et le revenu précédemment

évoqués sera utilisée. La figure 18 donne un aperçu succinct de la description des impacts directs préalablement évoqués ainsi que les composantes de l'environnement qui y sont impliquées. Il sera évoqué plus loin dans le document les impacts indirects ainsi que les interactions entre les différents facteurs.

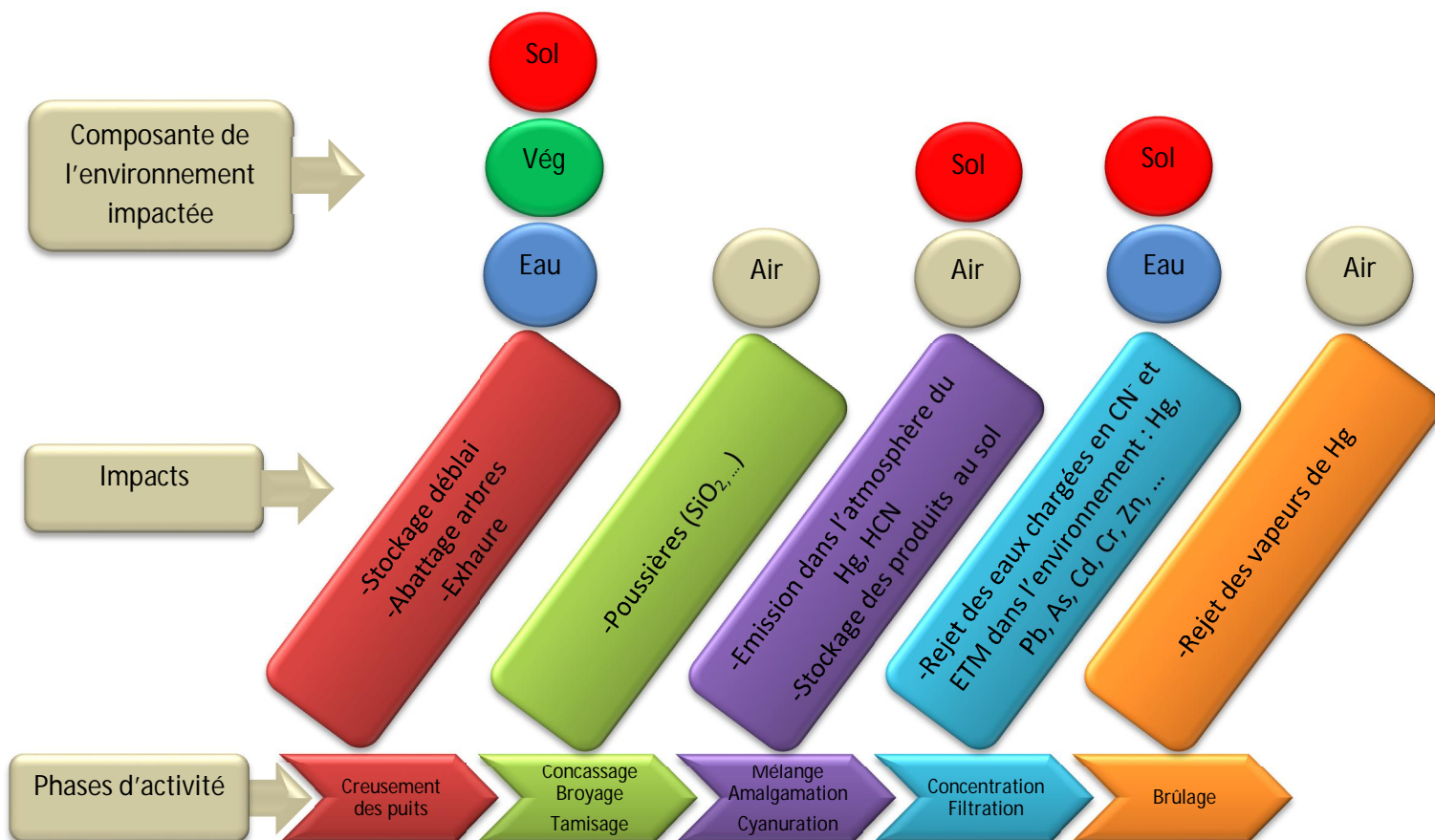


Figure 18 : Aperçu succinct des impacts directs des différentes phases d'activité sur l'environnement à Komabangou

3.1 Caractérisation des impacts

Pour évaluer les impacts de l'orpaillage sur le site de Komabangou, cinq (05) critères ont été retenus. Il s'agit de la nature de l'impact, l'intensité, la portée, la durée et la réversibilité.

3.1.1 Nature

L'impact retenu peut être soit positif (P) ou négatif (N). Il est positif s'il contribue à améliorer l'état de l'environnement ou les conditions de vie humaine. Il est négatif dans le cas contraire. En cas de situation inchangée, l'impact retenu sera nul.

3.1.2 Intensité

Il s'agit de l'ampleur de l'impact sur la composante étudiée. C'est le degré de perturbation qui peut être occasionné en fonction de la vulnérabilité de la composante. L'intensité peut être haute, moyenne ou basse :

- Elle est haute lorsque l'activité induit de profondes modifications sur la composante étudiée ou entache sérieusement son fonctionnement normal ou lorsqu'un dépassement sensible des normes est constaté ;
- Elle est moyenne lorsque les modifications induites sont visibles mais ne compromettent pas le fonctionnement normal de la composante ;
- Elle est faible lorsque les modifications induites sont légères ou nulles.

3.1.3 Portée

La portée permet d'apprécier l'étendue géographique de l'impact sur la composante étudiée. Elle peut être locale, régionale ou nationale.

- Elle est locale lorsque l'étendue de l'impact reste centrée sur le lieu où il est généré (ici le site de l'orpaillage) ;
- Elle est régionale lorsque l'impact généré s'étend au-delà du site et intéresse des surfaces qui n'avaient rien en commun avec le site ;
- Elle est nationale lorsque l'impact généré au niveau du site intéresse une grande partie du pays.

3.1.4 Durée

Il s'agit du temps pendant lequel l'impact est ressenti ou produit ses effets. Ainsi, l'impact peut être de court, moyen et long terme.

- Court terme : lorsque l'impact disparaît assez vite ou aussitôt qu'il est généré ;
- Moyen terme : lorsque l'impact généré persiste un certain temps mais disparaît avec le terme de l'activité ;
- Long terme : lorsque l'impact généré reste présent pendant toute la durée de l'activité et continue bien que celle-ci ait cessé.

3.1.5 Réversibilité

Ce paramètre caractérise la capacité de la composante perturbée à reprendre un fonctionnement normal identique à celui de son état initial. L'impact est alors réversible. Lorsque le fonctionnement ne peut être repris comme indiqué précédemment, on parlera plutôt du caractère irréversible de l'impact.

Les trois (03) critères suivants : intensité, portée et durée sont associés afin de déterminer l'intensité absolue de l'impact (cf tableau 11). L'intensité majeure sera représentée par +++, l'intensité moyenne par ++ et l'intensité mineure par +.

Tableau 11 : Critères d'évaluation des impacts (d'après Fecteau)

| Intensité | Portée | Durée | Intensité absolue |
|--------------------|-----------------|------------------|-------------------|
| Haute (H) | Nationale (Nat) | Long terme (Lt) | Majeure (+++) |
| | | Moyen terme (Mt) | Majeure |
| | | Court terme (Ct) | Majeure |
| | Régionale (R) | Long terme | Majeure |
| | | Moyen terme | Moyenne (++) |
| | | Court terme | Moyenne |
| | Locale (L) | Long terme | Majeure |
| | | Moyen terme | Moyenne |
| | | Court terme | Mineure (+) |
| Moyenne (M) | Nationale | Long terme | Majeure |
| | | Moyen terme | Moyenne |
| | | Court terme | Moyenne |
| | Régionale | Long terme | Moyenne |
| | | Moyen terme | Moyenne |
| | | Court terme | Moyenne |
| | Locale | Long terme | Moyenne |
| | | Moyen terme | Moyenne |
| | | Court terme | Mineure |
| Faible (F) | Nationale | Long terme | Majeure |
| | | Moyen terme | Moyenne |
| | | Court terme | Mineure |
| | Régionale | Long terme | Moyenne |
| | | Moyen terme | Moyenne |
| | | Court terme | Mineure |
| | Locale | Long terme | Mineure |
| | | Moyen terme | Mineure |
| | | Court terme | Mineure |

3.2 Evaluation des impacts sur les composantes du milieu physique et humain

L'évaluation des impacts de l'orpaillage sur l'environnement selon les critères ainsi définis et les composantes environnementales et humaines retenues se présentent dans tableau 12 ci-dessous.

Tableau 12: Matrice d'évaluation des impacts de l'orpaillage sur le site de Komabangou

| Milieu | Élément de l'environnement | Phase d'activité | Impacts principaux | Evaluation | | | | | |
|----------|----------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|--------|-------|-------------------|--------|
| | | | | Nature | Intensité | Portée | Durée | Intensité absolue | Ré/II* |
| PHYSIQUE | EAUX DE SURFACE | Stockage des déblais | Comblement des mares, modification des chemins de ruissèlement | N | M | L | Lt | ++ | Ir |
| | | Lavage du minerai | Diminution des ressources en eaux | N | M | R | Mt | ++ | Ré |
| | | Lavage du minerai et rejet des eaux | Matières en suspension, modification physico-chimique | N | M | Nat | Lt | +++ | Ir |
| | | Mélange, amalgamation | Déversement des eaux usées chargées en Hg et autres métaux | N | H | Nat | Lt | +++ | Ir |
| | | Cyanuration | Déversement des eaux usées chargées en CN ⁻ et autres métaux | N | H | Nat | Mt/Lt | +++ | Ré/Ir |
| | | Concentration, filtration | Déversement de métaux lourds via les eaux usées dans l'environnement | N | H | Nat | Lt | +++ | Ir |
| | | Exhaure | Diminution des ressources en eau | N | M | R | Ct | ++ | Ré |
| | EAUX SOUTERRAINES | Ouverture des puits | Disponibilité des ressources en eaux | P | M | R | Lt | ++ | Ré |
| | | Déversement des eaux pendant l'amalgamation | Infiltration et contamination des nappes | N | H | R | Lt | +++ | Ir |
| | | Déversement des eaux pendant la cyanuration | Infiltration et contamination des nappes | N | H | R | Lt | +++ | Ir |
| | | Déversement des eaux pendant la concentration, et filtration | Infiltration et contamination des nappes | N | H | R | Lt | +++ | Ir |
| | SOL | Ouverture des puits | Impraticabilité du terrain, érosion | N | H | L | Lt | +++ | Ir |
| | | Stockage des déblais | Dégradation physique du sol, modification du relief | N | M | L | Lt | ++ | Ir |
| | | Stockage des résidus de traitement | Dégradation physique du sol, modification du relief | N | H | L | Lt | +++ | Ir |

| | | | | | | | | | |
|----------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----|---|-------|--------|-----|----|
| | SOL | Mélange, amalgamation | Epandage des eaux chargées en Hg et autres métaux | N | H | R | Lt | +++ | Ir |
| | | Cyanuration | Epandage des eaux chargées en CN ⁻ et autres métaux | N | H | R | Lt | +++ | Ir |
| | | Concentration, filtration | Abandon des copeaux de zinc et autres produits sur le sol | N | H | L | Lt | +++ | Ir |
| | | Brûlage | Retombée des vapeurs de mercure au sol | N | H | L | Lt | +++ | Ir |
| | VEGETATION | Ouverture des puits | Dégradation de la végétation | N | M | L | Lt | ++ | Ré |
| | | Stockage des déblais | Dégradation de la végétation | N | M | L | Lt | ++ | Ré |
| | | Soutènement des parois des puits | Abattage des arbres et arbustes | N | H | R | Lt | +++ | Ré |
| | | Construction des hangars et hutte | Abattage des arbres, arbustes et destruction de la végétation | N | M | R | Lt | ++ | Ré |
| | | Bois de chauffe | Abattages des arbres et arbustes | N | M | R | Lt | ++ | Ré |
| | | Mélange, amalgamation | Destruction et contamination de la végétation | N | H | L | Lt | +++ | Ré |
| | | Cyanuration | Destruction et contamination de la végétation | N | H | L | Lt | +++ | Ré |
| | | Concentration, filtration | Destruction et contamination de la végétation | N | H | L | Lt | +++ | Ré |
| | AIR | Brûlage | Retombée des vapeurs de Hg sur la végétation | N | H | L | Mt | ++ | Ré |
| Concassage, broyage, tamisage | | Emission des poussières (SiO ₂ , ...) | N | H/M | L | Ct/Mt | + /+++ | Ré | |
| Déblai et autres déchets de traitement | | Emission des poussières (SiO ₂ , ...) | N | H | L | Mt | ++ | Ré | |
| Brûlage | | Emission des vapeurs de Hg | N | H | L | Mt | ++ | Ré | |
| | | Préparation des solutions de cyanure, de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique | Emission des vapeurs nocives | N | H | L | Ct | + | Ré |
| | | Creusement des puits | Risque de blessures, fractures, mort | N | H | L | Lt | +++ | Ir |

| | | | | | | | | | |
|---------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|-----|----|-----|----|
| HUMAIN | SANTE | Amalgamation, | Vomissement, diarrhée, troubles neurologiques, rénaux, musculaires... | N | H | L/R | Lt | +++ | Ir |
| | | Cyanuration | Vertiges, confusions, céphalées, troubles neurologiques, cancers, saturnisme, impacts cutanés... | N | H | L/R | Lt | +++ | Ir |
| | | Préparation des solutions d'acides nitrique et sulfurique | Vertiges, vomissement, œdème pulmonaire, brûlures, lésions oculaires | N | H | L | Ct | + | Ir |
| | | Concassage, broyage, tamisage | Risque de silicose, tuberculose, ... | N | H | L | Lt | +++ | Ir |
| | | Cohabitation de différentes populations sur le site | MST, VIH/SIDA, paludisme, ... | N | H | Nat | Lt | +++ | Ir |
| | | Utilisation des eaux de surfaces pour la vaisselle ou le linge | Maladies hydriques, problèmes dermatologiques | N | H | L | Lt | +++ | Ré |
| | REVENU | Disponibilité de l'emploi | Amélioration du revenu | P | H | R | Mt | ++ | Ré |
| | | Construction des infrastructures sociales, religieuses et culturelles | Amélioration du cadre de vie social | P | H | L | Lt | +++ | Ir |
| | | Activités commerciales | Débouché pour les produits locaux | P | H | R | Mt | ++ | Ré |

*Ré/Ir : Réversible/Irréversible dans les conditions locales

La matrice d'évaluation permet ainsi d'identifier les activités qui ont un impact majeur de même que les composantes de l'environnement qui sont impactées. Les eaux de surface et les eaux souterraines ont une très grande sensibilité ce qui explique la gravité des conséquences de l'orpaillage sur ces éléments de l'environnement. La végétation et dans une moindre mesure, l'air présentent aussi une grande sensibilité. Néanmoins, la lecture du tableau 12 permet de conclure qu'en dehors des problèmes sanitaires et environnementaux, l'orpaillage sur le site de Komabangou a également un impact positif sur la vie des orpailleurs.

La matrice d'évaluation étant établie, des mesures de suppression et/ou d'atténuation des impacts négatifs ainsi que de renforcement des impacts positifs peuvent être envisagées. Il faut à ce niveau noter que l'objectif de l'enquête sur le terrain était de recueillir les avis et le vécu des orpailleurs afin d'affiner l'évaluation par la matrice. Cependant la propagation de la pandémie de Covid-19 qui secoue encore le monde entier n'avait pas permis l'exécution de cette enquête.

IV. RECOMMANDATIONS

Afin de pallier les problèmes identifiés par la matrice d'impacts (cf tableau 12), quelques dispositions peuvent être mises en œuvre. Ainsi, les mesures suivantes, peuvent significativement contribuer à améliorer la protection de la santé des orpailleurs et de préserver les fonctions naturelles des composantes de l'environnement.

- Pour le déversement des eaux usées chargées en métaux : Eviter de déverser les rejets des eaux de sossoriya et de cyanuration directement dans l'environnement sans aucun traitement préalable. Creuser des bassins étanches dans lesquels les eaux usées vont être stockées et éventuellement réutilisées ;
- Pour le mercure : Comme le précise l'annexe C de la Convention de Minamata sur le mercure, éviter autant que possible l'amalgamation du minerai brut, le brûlage à l'air libre, ainsi que la lixiviation au cyanure des résidus traitement du minerai déjà traité au mercure. Aussi, l'utilisation des cornues pour récupérer le mercure lors du brûlage doit être privilégiée.

La cornue est un simple appareil utilisé pour la capture et le stockage des vapeurs de mercure pendant le brûlage de l'or (Richard & al, 2014). Le mercure ainsi recueilli peut être purifié pour une réutilisation et stocké dans les meilleures conditions de sécurité. Constitué d'un couvercle de verre et d'un récipient contenant du sable (cf photo 10A et 10B) ce matériel très simple peut être utilisé sur le site de Komabangou afin de récupérer les vapeurs de mercure lors du brûlage de l'or. Lorsque le chauffage est terminé, le sable peut être stocké soigneusement et le mercure peut être récupéré par la suite.

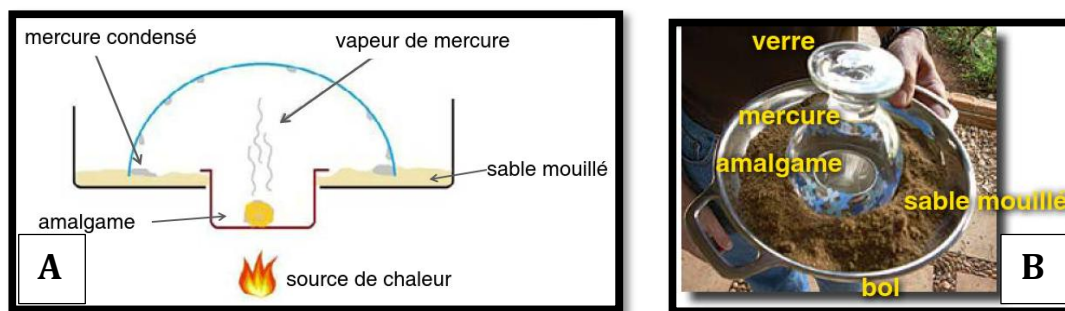


Photo 10 A&B : Principe de fonctionnement d'une cornue simple avec couvercle en verre, (Photo Artisanal Gold Council 2014)

La cornue Fauzi (photo 11) est un autre exemple de dispositif simple qui peut être fabriqué artisanalement avec les matériaux locaux. Le mercure est récupéré dans une lame d'eau. Il peut être stocké soigneusement par la suite pour être réutilisé dans le processus d'amalgamation. En plus de réduire drastiquement l'émission des vapeurs, la cornue permet aux orpailleurs de réaliser des économies substantielles sur l'approvisionnement en mercure.



Photo 11 : Cornue Fauzi, (fabrication locale, Indonésie). (Photo Artisanal Gold Council 2014)

Cependant l'utilisation d'une cornue ne signifie pas la fin des émissions totales des vapeurs de mercure dans l'atmosphère. En effet, les cornues doivent être utilisées dans un endroit aéré et manipulées avec soin. Les habits utilisés lors du brûlage doivent être stockés dans un endroit isolé ainsi que la cornue elle-même. Les enfants et les femmes en âges de procréer ne doivent jamais manipuler les cornues. La création d'un centre de brûlage est donc à encourager.

- Sensibiliser les orpailleurs sur la nécessité de bien stocker le mercure afin d'éviter un déversement accidentel. Aussi, le mercure doit être stocké sous une lame d'eau dans un récipient hermétique afin d'éviter toute évaporation ;
- Mettre en place un programme de sensibilisation des orpailleurs sur le danger que représente l'utilisation incontrôlée du mercure sur la santé et l'environnement. Ce programme sensibilisera également les orpailleurs sur le gain qu'ils peuvent réaliser en récupérant le mercure lors des différentes opérations de séparation de l'or y compris pendant le brûlage. Des pictogrammes illustrant les dangers liés au mercure, cyanure et l'empoussièrement peuvent être disposés à des emplacements stratégiques sur le site (cf photo 12).



Photo 12 : Pictogrammes à placer aux endroits stratégiques sur le site d'orpaillage

- Eviter le brûlage de l'or dans un espace confiné, au milieu de personnes et ne pas ramener dans la famille les habits et chaussures utilisés ;
- Pour le cyanure : préparer des bassins peu profonds (fine lame d'eau) dans lesquelles le cyanure va être dégradé avant le rejet des eaux dans l'environnement ;
- Pour les poussières de silice : sensibiliser les orpailleurs sur l'importance d'utiliser les équipements de protection individuels (EPI) tout au long du processus d'extraction de l'or en particulier les masques anti poussière pour limiter l'inhalation des particules fines de silices et éviter ainsi les problèmes respiratoires ;
- Pour le déboisement : Eviter la coupe abusive du bois et rationaliser son utilisation dans le soutènement des puits ainsi que la construction des hangars ;
- Inviter les orpailleurs à planter et entretenir régulièrement des arbres dans les zones d'habitation enfin de compenser la coupe des arbres. Aussi, la collectivité peut créer une pépinière qui va être utilisée pour reboiser des espaces choisis par cette dernière. Ces plantations seront entretenues au moyen d'une taxe (légère sur les orpailleurs) levée au profit du fond destiné à la pépinière et au parc arboré ;
- Exiger des propriétaires la fermeture des puits à la fin de l'extraction de l'or sauf en cas d'utilisation pour l'alimentation en eau. Cette disposition peut être mise en application par l'administration des mines en exigeant la fermeture complète des trous d'orpaillage avant la délivrance d'une nouvelle autorisation d'exploitation artisanale ;
- Enfin il conviendra d'amorcer la transition vers une exploitation minière sans mercure en utilisant des techniques novatrices. Ces techniques (optimisation du broyage, concentration par table à secousses, ...) développées et mises en œuvre par certaines organisations non gouvernementales dont Artisanal Gold Council (AGC) ont déjà porté leurs fruits en Afrique de l'Ouest particulièrement à Zopal au Burkina Faso et sur le site de Bantako au Sénégal [2]. En effet, des études ont montré que l'amalgamation ne permet de récupérer que moins de 50% de l'or disponible et dans le pire des cas, ce taux descend à seulement 10% selon Hylander et al. (2007) par traitement sur une mauvaise granulométrie. Un partenariat, par exemple entre AGC, l'administration des mines et les représentants des orpailleurs pourrait sans doute être bénéfique à la pratique d'orpaillage sur le site de Komabangou.

CONCLUSIONS

Dans le Liptako et plus particulièrement sur le site de Komabangou, l'or est exploité de manière artisanale avec des produits chimiques dangereux pour la santé humaine et environnementale. Bien que l'orpaillage contribue à améliorer le cadre de vie des orpailleurs en leur procurant un revenu substantiel ainsi que des emplois dans un contexte de diminution progressive du rendement agricole et de la pandémie du Covid-19, il n'en demeure pas moins qu'il reste une activité polluante. L'utilisation du mercure et du cyanure est très connue sur le site de Komabangou avec comme corollaire le déversement des eaux issues de sossoriya et de cyanuration directement dans l'environnement. Le rejet de ces eaux chargées en métaux lourds dans l'environnement est la principale source anthropique de contamination des eaux de surface et même des eaux souterraines. En effet, les analyses effectuées par Tankari Dan-Badjo et al., en 2014 à Komabangou montrent que les concentrations de mercure dans les eaux de surface et dans les eaux souterraines dépassent les normes. De même, la concentration de l'arsenic dans les eaux souterraines est au-delà de la valeur limite fixée par l'OMS.

La concentration de ces mêmes métaux dans les eaux issues de la cyanuration dépassent largement la norme de rejet dans l'environnement prévue par l'arrêté N°140/MSP/LCE/DGSP/DS/DH du 24 septembre 2004. Ces teneurs élevées sont le résultat de l'attaque acide des métaux qui soit accompagnent le minerai aurifère soit ajoutés lors du processus de traitement. Cette solubilisation ainsi que l'ajout du mercure et du cyanure entraînent ces éléments dans les eaux souterraines qui sont pourtant consommées par la population. Ceci peut conduire à plusieurs problèmes de santé liés à l'ingestion ou l'inhalation des métaux.

Les analyses des échantillons de sol réalisés par Ibrahim et al., en 2019 ont également montré que l'orpaillage a contribué à contaminer les sols par les métaux lourds. La pratique de l'orpaillage ne laisse pas aussi indifférent, l'environnement physique. En effet, l'extraction artisanale de l'or dans le Liptako s'accompagne également de la dégradation physique de l'environnement et de l'abattage des arbres et arbustes.

Les recommandations formulées à l'issue cette étude permettront d'améliorer significativement la pratique de l'orpaillage sur le site de Komabangou tout en préservant la santé des orpailleurs ainsi que l'environnement dans lequel ils vivent. Ainsi, dans le cadre de la mise en application et de la surveillance de ces mesures, il est tout aussi important que l'administration des mines s'approprie ces recommandations. La présence de l'administration des mines sur les sites d'orpaillage ne doit pas simplement être limitée à la vente de la carte d'orpailleur ou la collecte des taxes. Elle doit aussi veiller au respect des mesures sanitaires et environnementales et sensibiliser les orpailleurs sur les bonnes pratiques environnementales. Cette sensibilisation doit tendre, avec le temps, vers la mise en œuvre d'une pratique d'exploitation artisanale de l'or plus responsable et plus respectueuse de l'environnement. Enfin, dans le but d'affiner cette évaluation d'impact et proposer de meilleures recommandations il conviendra dans le futur, lorsque les conditions le permettront, d'effectuer l'enquête de terrain dont le formulaire est joint en annexe.

BIBLIOGRAPHIE

- ABN. (2020). Autorité du bassin du Niger. Bulletin Mensuel Mai 2020, 10p.
- Ama Salah, J. P. Liegeois, A. P. (1996). Evolution d'un arc insulaire océanique birimien précoce au Liptako nigérien (Sirba): Géologie, géochronologie et géochimie. *Journal of African Earth Sciences*, 5362(April), 21p. [https://doi.org/10.1016/0899-5362\(96\)00016-4](https://doi.org/10.1016/0899-5362(96)00016-4)
- Ambouta, J. M. K., D'Herbès, J. M., & Peltier, R. (1997). Définition et caractérisation des structures de végétation contractée au Sahel: cas de la brousse tigrée de l'ouest nigérien. 41–57.
- Antoine & al. (n.d.). Plan minéral de la République du Niger. Etude spécifiques des principales substances minérales et leur contexte géologiques. Tome IV.
- Augustin, B. (2018). Etude sur l'orpaillage et l'utilisation du mercure dans l'exploitation minière artisanale en Ituri. 26p.
- Babaye, M. S. A. (2012). Evaluation des ressources en eau souterraine dans le bassin de Dargol (Liptako – Niger). Thèse. Université de Liège, 265.
- Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec. (2014). Détermination des métaux dans l'eau : méthode par spectrométrie d'émission au plasma d'argon et détection par spectrométrie de masse, MA.203- Mét. ICP-MS, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climati. 12p.
- Darrouzès, J., & McCurdy, E. (2006). Analyse Multiélémentaire avec un Spectromètre de Masse à Couplage Inductif (ICP-MS) à Cellule de Collision/Réaction (CCR) Agilent 7500ce - Intérêt d'un gaz de collision comme l' hélium. *Environmental*.
- Djibrilla, A. M. (2017). Analyse des impacts environnementaux et socio-économiques liés à l'exploitation minière de l'or dans le Liptako nigérien : approche méthodologique et mesures d'atténuation. Thèse, 267.
- Galvez-Cloutier, R. (2008). Evaluation des impacts environnementaux (EIE): Les méthodes et outils. Léopold & Sorensen. Faculté des sciences et de génie. Université Laval. 20p.
- Gerson & al. (2018). Senegalese artisanal gold mining leads to elevated total mercury and methylmercury concentrations in soils , sediments , and rivers. *Elem Sci Anth*, 14p.
- Greigert, J. (1978). Atlas des eaux souterraines du Niger- Etat des connaissances (Mai 1978). Les nappes du Continental Terminal du synclinal de Dogondoutchi. Tome 1. Fscicule V(Mai), 438p.
- Hassane & al. (2015). Optimization of the spectrophotometric determination of Aqueous Cyanide : Application on Samira (Niger) Gold Mine Groundwater Analysis. *Ajrc*, 8(7), 481–492. <https://doi.org/10.5958/0974-4150.2015.00077.2>
- Hassane et al. (2018). New method for complete recovery of total cyanide in water and soil and its application at the Samira gold mine (Niger). *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, 12(November), 62–73. <https://doi.org/10.5897/AJPAC2018.0770>
- Ibrahim, O. Z., Dan-badjo, A. T., Guero, Y., Maissoro, F., Idi, M., Feidt, C., & Sterckeman, T. (2019). Distribution spatiale des éléments traces métalliques dans les sols de la zone

- aurifère de Komabangou au Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* ISSN: 1991-8631, 13(February), 557–573.
- INRS. (2018). Cyanure d'hydrogène et solutions aqueuses. 1–7.
- INS-Niger. (2015). Recensement général de la population et de l'habitat-Etat et structure de la population du Niger en 2012. 2012, 88p.
- INS-Niger. (2016). Monographie de la région de Tillabéri. 2012, 1–120.
- INS-Niger. (2018). Annuaire statistique régional de Tillabéri 2013-2017.
- Knobel, J. (1991). Inventaire de la géologie et de la prospection au Liptako - REPUBLIQUE DU NIGER.
- Léopold. (1971). A procedure for evaluating environmental impact. *US Geological Survey Circular*, 2.
- Leprêtre, R. (2015). Evolution phanérozoïque du Craton Ouest Africain et de ses bordures Nord et Ouest. Thèse, Université Paris Sud, (Sciences de la Terre), 423p.
- Machens. (1964). Mission Prospection General du Liptako-Rapport de fin de mission (1958-1964) et inventaire d'indices de minéralisation (p. 144). p. 144. Paris XVè: BRGM.
- Mason, R. P., Baumann, Z., Hansen, G., Yao, K. M., Coulibaly, M., & Coulibaly, S. (2019). An assessment of the impact of artisanal and commercial gold mining on mercury and methylmercury levels in the environment and fish in Cote d'Ivoire. *Science of the Total Environment*, 665, 1158–1167. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.393>
- MME. (2007). Code Minier de la République du Niger. 116p.
- Moisan, & Blanchard. (2012). Utilisation de la cyanuration dans l'industrie aurifère en Guyane. Impacts potentiels sur l'environnement et recommandations. Rapport final BRGM/RP-61968-FR. 120p.
- Moussa, F., Saadé, S., & Sékou, H. (1997). Mesure de l'empoussiérage à la mine d'AKOUTA (NIGER). *Medecine d'Afrique Noire*, 44(7), 6–8.
- MSP. (2004a). Arrêté 141/MSP/LCE/DGSP/DS fixant les normes de potabilité de l'eau de boisson. 5P.
- MSP. (2004b). Arrêté N°140/MSP/LCE/DGSP/DS/DH fixant les normes de rejet des déchets dans le milieu naturel. 6p.
- Niane, B., Moritz, R., Guédron, S., Malick, P., Rudolf, H., Mall, I., & Poté, J. (2014). Effect of recent artisanal small-scale gold mining on the contamination of surface river sediment : Case of Gambia River , Kedougou region , southeastern Senegal. *Journal of Geochemical Exploration*, 144, 517–527. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.03.028>
- Noyola-Medrano & al. (2003). Evaluation du changement de l'occupation du sol à l'aide des images Landsat et Spot: champ volcanique de la Sierra Chichinautzin (MEXIQUE). 1–12.
- O'Neill, J. D., & Telmer, K. (2017). Estimer l'utilisation du mercure et identifier les pratiques

- de l'extraction minière artisanale et à petite échelle de l'or (EMAPE). Genève: ONU-Environnement.
- OMS. (2017). Risques pour la santé au travail et l'environnement associés à l'extraction minière artisanale et à petite échelle de l'or. Retrieved from [http://apps.who.int/iris.Ventes](http://apps.who.int/iris/Ventes),
- Perks & al. (2015). Resources and resourcefulness: gender, human rights and resilience in select artisanal mining towns et Eastern Congo. Washington, DC: Word Bank. (July), 78p.
- PNUE. (2014). Rapport annuel 2013. In Eppo Bulletin (Vol. 44). <https://doi.org/10.1111/epp.12149>
- Programme des Nations Unies pour l'Environnement. (2017). Convention de Minamata sur le mercure. Texte et annexes. 73p. Retrieved from www.mercuryconvention.org
- Richard & al. (2014). L'utilisation des cornues pour réduire l'utilisation , les émissions et l'exposition au mercure dans l'exploitation minière artisanale et à petite échelle de l'or (EMAPE), (version 1.0), Artisanle Gold Council, Victoria, BC.ISBN 978-0-9939459-6-0. 20p. Retrieved from www.artisanalgold.org
- Richard & al. (2015). La santé dans l'orpaillage et l'exploitoin minière artisanale: un manuel pour instructeurs, Victoria, BC. Retrieved from www.artisanalgold.org
- Richard, Moher, & Telmer. (2014). Problèmes de santé liés à l'orpaillage et à l'exploitation minière artisanale: Formation pour professionnels de la santé, (version 1.0), Artisanal Gold Council, BC. ISBN/ 978-0-9939459-1-5. Victoria.
- Saley & al. (2017). Les minéralisations de manganèse du Nord Téra (Liptako, Ouest Niger): origine et conditions de mise en place. REV. CAMES, 05, 18–28.
- Sivakumar et al. (1993). Agroclimatology of West Africa: NIGER (Second Edi; ICRISAT, Ed.). NIGER: Patancheru, A.P. 502 324, Inde.
- Soumaila, A. (2000). Etude structurale, pétrographique et géochimique de la ceinture birrimienne de Diagorou-Darbani Liptako, Niger Occidental (Afrique de l'Ouest). Université de Franche-Comté. Thèse, (Sceinces de la Terre), 260 p.
- Soumaila, A., Henry, P., & Rossy, M. (2004). Contexe de mise en place des roches vertes birimienne de Diagorou-Darbani Liptako, Niger, Afrique de l'Ouest): plateau océanique ou environnement d'arc/bassin arrière-arc océanique. C.R. Géoscience 336, 336, 1137–1147. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2004.03.008>
- Tankari Dan-Badjo & al. (2013). Evaluation de la contamination des sols par les éléments Traces Metalliques dans les Zones Urbaines et Periurbaines de la Ville de Niamey (Niger). *Revue Des BioRessources*, 3 N(December 2013). <https://doi.org/10.12816/0008874>
- Tankari Dan-Badjo, A., Tidjani, D., Idder, T., Guero, Y., Dan Lamso, N., Matsallabi, A., ... Echevarria, G. (2014). Diagnostic de la contamination des eaux par les éléments traces métalliques dans la zone aurifère de Komabangou – Tillabéri, Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(6), 2849. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v8i6.41>
- Thomassin, J. F., Touzé, S., & with the collaboration of Baranger. (2003). Le mercure et ses

composés. Comportement des sols, les eaux et les boues de sédiments. BRGM/RP-51890-FR. Brgm/Rp-51890-Fr, 119p.

Tomicic & al. (2011). Human mercury exposure associated with small-scale gold mining in Burkina Faso. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 84(5), 539–546. <https://doi.org/10.1007/s00420-011-0615-x>

USAID. (2017). Directive environnementale sectorielle : exploitation minière artisanale et à petite échelle. Appui de l'USAID à la gestion de l'environnement mondial (GEMS). 100p.

WHO. (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality- 4th edition*. 564p.

WEBOGRAPHIE

[1] <https://www.nigerdiaspora.net/index.php/societe-archives/item/75471-conflits-sur-les-sites-d-orpaillage-le-diktat-de-detenteurs-coutumiers-principale-source-de-conflit> consulté le 25/07/2020

[2] <http://www.artisanalgold.org/our-projects/africa/#senegalguinea> consulté le 05/08/2020

ANNEXE 1 : Fiche d'enquête destinée aux orpailleurs

| 3. REVENU | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------------------------------------|
| 3.1 Etes-vous satisfait des revenus de l'activité d'orpaillage ? | A. Oui | B. Non | |
| 3.1.1 Si non pourquoi ? | | | |
| 3.1.2 Si oui avez-vous une idée de ce que vous gagnez ? | | | |
| 3.1.3 Ce revenu est-il suffisant pour que vous en viviez ? | A. Oui | B. Non | C. Ne souhaite pas répondre |
| 3.1.4 Ce revenu contribue-t-il à nourrir d'autres personnes ? | A. Oui | B. Non | C. Ne souhaite pas répondre |
| 3.1.5 Arrivez-vous à épargner ? | A. Oui | B. Non | C. Ne souhaite pas répondre |
| 3.1.6 Quelle est la quantité d'or que vous gagnez par semaine/mois/saison ? | | | |
| 4. ASPECT PHYSIQUE DU SITE | | | |
| 4.1 Coupez-vous parfois des arbres dans le cadre de votre activité ? | A. Oui | B. Non | |
| 4.2 Avez-vous remarqué un changement (négatif) sur les herbes, arbustes ou sol qui sont en contact avec les produits ou l'activité ? | A. Oui | B. Non | |
| 4.2.1 Si oui décrivez succinctement ce que vous avez observé | | | |
| 4.3 Lorsque vous avez fini d'exploiter un trou que faites-vous ? | A. On l'abandonne B. On le referme C. Autre à préciser : | | |
| 5. SANTE | | | |
| 5.1 Savez-vous que les produits de traitement de l'or comme le mercure sont dangereux pour la santé ? | A. Oui | B. Non | |
| 5.2 Vous arrive-t-il de vous sentir mal à l'aise après une journée d'utilisation de ces produits ? | A. Oui | B. Non | C. Je n'utilise pas des produits chimiques |
| 5.3 Avez-vous connaissance des personnes qui sont tombées malades à force d'utiliser ces produits ? | A. Oui | B. Non | |
| 6. CONFLIT | | | |
| 6.1 Quels sont les problèmes que vous rencontrez dans cette activité ? | | | |
| 6.2 Existe-t-il parfois des conflits sur le site ? | A. Oui | B. Non | |
| 6.2.1 Si non quelles sont les précautions qui ont été prises pour éviter les conflits ? | | | |
| 6.2.2 Si oui comment ces conflits sont-ils résolus ? | | | |
| 7. FORMATION | | | |
| 7.1 Recevez-vous des visites des agents du ministère chargé des mines ? | A. Régulièrement B. Sporadiquement C. Pas du tout | | |
| 7.2 Avez-vous bénéficié des formations de la part du ministère chargé des mines ou d'autres organismes ? | A. Oui | B. Non | |
| 7.2.1 Si oui, quels sont les organismes qui donnent ces formations ? | A. Ministères B. ONG C. Autres à préciser : | | |
| 7.2.2 Quel est le nombre des formations que vous avez reçues ? | | | |
| 7.2.3 Comment avez-vous trouvé ces formations ? | A. Intéressantes B. Moins intéressantes C. Pas du tout intéressantes | | |
| 7.2.4 Si non quel genre de formation désirez-vous recevoir ? | | | |

ANNEXE 2 : Fiche d'enquête destinée aux non orpailleurs

| Enquête sur la population témoin | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|
| <i>Questionnaire destiné aux personnes ne pratiquant pas l'orpaillage et ne travaillant pas sur site d'orpaillage</i> | | |
| N° Fiche : | Nom du village/lieu : | |
| Date : / / | | |
| Code enquêteur : | | |
| NOTA : Pour les réponses à choix multiples, encrer la lettre correspondant au choix de l'enquêté | | |
| 1. IDENTIFICATION DE LA PERSONNE ENQUETEE | | |
| 1.1 Code car anonyme : | 1.2 Sexe : M F | 1.3 Age : |
| 1.4 Activité principale : | | |
| 2. SANTE | | |
| 2.1 Vous considérez-vous en bonne santé ? | A. Oui | B. Non |
| 2.2 Souffrez-vous d'une maladie quelconque ? | A. Oui | B. Non |
| 2.2.1 Si oui décrivez brièvement ce que vous ressentez ?..... | | |
| | | |
| 2.2.2 Depuis combien de temps souffrez-vous de cette maladie ?..... | | |
| | | |
| 2.2.3 Avez-vous été hospitalisé ? | A. Oui | B. Non |
| 2.2.4 Cela fait combien de temps que vous avez été hospitalisé ?..... | | |
| | | |
| 2.3 Pensez-vous que l'orpaillage peut être à l'origine de certaines maladies ? | | |
| | A. Oui | B. Non |
| 2.3.1 Si non pourquoi ?..... | | |
| | | |
| 2.3.2 Si oui quelles peuvent être selon vous ces maladies ?..... | | |
| | | |
| 3. Qualité des eaux et propreté des sites | | |
| 3.1 Pensez-vous que l'activité d'orpaillage sur le site a eu un impact sur la qualité de l'eau que vous buvez ? | | |
| | A. Oui | B. Non |
| 3.1.1 Si oui quels sont le ou les changements ? (Plusieurs choix sont possibles) | | |
| A. L'eau a changé de goût B. L'eau a changé d'odeur C. L'eau a changé de couleur | | |
| 3.2 Avez-vous connaissance des puits ou forages qui sont devenus secs du fait des prélèvements par les orpailleurs ? | | |
| | A. Oui | B. Non |
| 3.3 Avez-vous connaissance des puits ou forages dont la quantité d'eau disponible a diminué du fait des prélèvements par les orpailleurs ? | | |
| | A. Oui | B. Non |
| 3.4 Que pensez-vous sur la propreté des environs du fait de la présence d'orpaillage ? | | |
| A. Les environs sont plus propres qu'avant B. Les environs sont moins propres qu'avant | | |

ANNEXE 3 : Coordonnées des points d'échantillonnages

| Point | Longitude | Latitude | Description |
|-------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|
| Eau_surf1 | 1,06486 | 14,04992 | Mare de Guidan-Kwara |
| Eau_surf2 | 1,09264 | 14,0137 | Mare de Kouhoun |
| Eau_surf3 | 1,05043 | 14,0747 | Mare de Sounboul-Kongou |
| Eau_sout4 | 1,05872 | 14,05836 | Forage de Bourah |
| Eau_sout5 | 1,04997 | 14,07101 | Forage de Sounboul-Kongou |
| Eau_sout6 | 1,09283 | 14,01375 | Forage de Kouhoun |
| Eau_sout7 | 1,05748 | 14,08591 | Puits (nappe) site Abdallah |
| Eau_soss8 | 1,06077 | 14,0805 | Gawado-Komabangou |
| Eau_soss9 | 1,06676 | 14,08561 | Kwascké-Komabangou |
| Eau_soss10 | 1,06184 | 14,0932 | Nakiya-Komabangou |
| Eau_soss11 | 1,05498 | 14,08849 | Dan-Dabino-Komabangou |
| Eau_cyan12 | 1,05163 | 14,10225 | Grillage Baba Djallo |
| Eau_cyan13 | 1,06498 | 14,10192 | Grillage Moussa Morey |
| Eau_cyan14 | 1,07366 | 14,08473 | Grillage Elh Saadou |
| Eau_cyan15 | 1,09436 | 14,08463 | Grillage Bidon |

Source : (Tankari Dan-Badjo, 2014), les coordonnées sont en degré.