THÈSE POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR DE L'INSTITUT MINES-TELECOM (IMT) – ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES D'ALÈS (IMT MINES ALÈS)

En Environnement, Territoires et Sociétés

École doctorale GAIA – Biodiversité, Agriculture, Alimentation, Environnement, Terre, Eau

Unité de recherche HydroSciences Montpellier

De l'or dans les cartes : étude des dynamiques socio-spatiales de l'orpaillage en Haute – Guinée.

Présentée par Ibrahima Kalil DOUMBOUYA

le 29 avril 2025

sous la direction de Marc VINCHES et Ahmed Amara KONATE,
avec l'encadrement de Juliette CERCEAU et Anna DESSERTINE

Devant le jury composé de

Laurence MAURICE, Directrice de Recherche IRD, UMR GET, Université de Toulouse	Rapporteur
Yann GUNZBURGER, Professeur des Universités, UMR Géoressources, Université de Lorraine	Rapporteur
Juliette CERCEAU, Maître de Conférences, IMT Mines Alès, UMR HSM, Université de Montpellier	Examinatrice
Anna DESSERTINE, Chargée de Recherches IRD, UMI Source, Université St Quentin en Yvelines	Examinatrice
Damien GOETZ, Professeur, Centre de GéoSciences, Mines Paris – PSL, Université PSL	Président du jury
Camille JAHEL, Chargée de Recherches CIRAD, UMR Tetis, CIRAD	Examinatrice
Ahmed Amara KONATE, Maître de Conférences, ISMGB, Boké, Guinée	Invité
Marc VINCHES, Professeur, IMT Mines Alès, UMR HSM, Université de Montpellier	Invité

COLLÈGE DOCTORAL
UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

IMT Mines Alès
École Mines-Télécom

DÉDICACE

Au tout Puissant et Miséricordieux,

« Au sacrifice que mes parents ont fait de leur propre confort, pour m'offrir la chance d'étudier »,

A la mère de ma maman,

A mon épouse et nos amis…

A ma famille, amis et à tous ceux qui, de près ou de loin ont contribué à un aspect de ma vie…

REMERCIEMENTS

« Quand on veut une chose, tout l'Univers conspire à nous permettre de réaliser notre rêve » Paulo Coelho.

Le 12 juillet 1998, au Stade de France à Saint-Denis, Zinédine Zidane marquait deux buts de la tête lors de la finale de la Coupe du monde de football contre le Brésil, offrant à la France son premier titre dans cette compétition. Par cet exploit, il devenait le héros d'une nation entière. Pourtant, loin d'être une réussite personnelle, c'était avant tout un travail d'équipe. Dans le sport, comme dans bien d'autres domaines, une multitude de héros discrets œuvrent dans l'ombre, souvent oubliés sous le feu des projecteurs. Dans le monde scientifique, Jean-Pierre Luminet, dans le commentaire du livre *la structure des révolutions scientifiques* de Thomas Kuhn les appelle « les passeurs du savoir » : ces figures invisibles sans qui certains exploits scientifiques seraient tout simplement impossibles. Dans le quotidien de la recherche doctorale, ce sont souvent les encadrants, les collègues, les familles et parfois même les bibliothécaires qui, par leurs contributions discrètes, rendent possible le travail de recherche. Ainsi, ce travail de thèse est le fruit de nombreuses rencontres et collaboration avec diverses personnes. Cela va d'un mineur au fond du puits qui accepte de faire une pause afin de répondre à nos questions à un administrateur, en passant par des collègues. Pour cette raison, j'aimerais exprimer mes profonds remerciements et ma sincère gratitude à ces personnes que l'Univers a mises sur mon chemin.

Mon équipe d'encadrement : au cours de ces années, j'ai pu compter sur le soutien et la disponibilité de cette équipe à qui j'exprime toute ma gratitude :

Marc VINCHES, Professeur à l'IMT Mines Alès, mon directeur de thèse pour ses conseils scientifiques, techniques et diplomatiques, sa disponibilité à répondre à mes sollicitations durant toutes les étapes de la thèse, et son sens de l'écoute et de l'accompagnement. Je lui exprime toute ma gratitude.

Ahmed Amara KONATE, Maître de Conférences à l'Institut Supérieur des Mines et Géologie de Boké, mon co-directeur de thèse qui m'a apporté une aide scientifique inestimable et de précieux conseils pendant ces travaux.

Juliette CERCEAU, Maîtresse de Conférences à l'IMT Mines Alès, mon encadrante experte en sciences humaines et sociales qui m'a ouvert les portes de la recherche participative. Je lui exprime ma gratitude pour sa disponibilité, ses contributions tout au long de ce travail, et pour m'avoir permis de découvrir une autre facette de la recherche.

Anna DESSERTINE, Chargée de Recherche à l'IRD, mon encadrante, anthropologue et qui a beaucoup travaillé sur la Guinée et en Afrique. Je la remercie vivement pour les conseils et les questionnements qu'elle a su formuler, relatifs à mon travail de terrain en particulier, pour me faire progresser.

Odile BRUNEEL, Directrice de Recherche l'IRD, Université de Montpellier. Je lui exprime toute ma reconnaissance pour sa disponibilité et son soutien.

Philipe KISTER, qui m'a initié à la recherche durant le stage de mastère, et qui m'a incité à entreprendre un parcours en thèse, puis qui s'est impliqué personnellement pour l'obtention des premiers contacts académiques. Je lui exprime toute ma gratitude.

Madame la Docteure Diaka Sidibé, Ministre de l'Industrie et des PME de Guinée pour son implication dans l'obtention de la bourse d'études.

Modou MBAYE, à l'Université Cheik Anta Diop de Dakar pour m'avoir initié à l'analyse des images satellite et à Google Earth Engine.

David BARATOUX, chercheur à l'IRD, qui a activement contribué à la rédaction de ce projet de thèse, et à la constitution d'un réseau autour de l'équipe d'encadrement.

Robin PETIT-ROULET, doctorant à l'Iram, pour ses soutiens méthodologiques sur le terrain et à distance.

Oumar MARIGO, doctorant à l'UCAD, au Sénégal, pour son aide.

Je remercie également l'équipe d'ACE Partner pour l'accompagnement financier de la thèse, en relation avec l'IRD. Dans la même optique, je remercie la Fondation IMT, gestionnaire de la Chaire Industrie Minérale et Territoire, le programme ARTS de l'IRD, l'UMR HydroScience Montpellier, et le Centre Emergent Mines & Société de Boké.

Les familles Camara et Kéïta de Bouré pour leur accompagnement sur le terrain et à distance.

Le Directeur National Adjoint des Mines de Guinée, Ibrahima Traoré.

Mamby Koita représentant de l'UNOG à Salah (Doko).

Le chef du *tomboloma* de Kintinia

Je tiens également à remercier Patrick LACHASSAGNE, Céline DUWIG, Fabienne NIVET, Gaelle BRULE, Dieneba COULIBALY, le conseiller scientifique de l'Ambassade de France en Guinée, l'association des Alumni de l'ISMGB, Namory CAMARA, Mamady KEITA, Sophonisbe CHABOUINI, Fabrice COLIN, Patrice EBAH, Grégory GIRAUD, Peniel ADOUNKPE, Haidar FAKIH, Vivian VARLET.

Un grand merci au laboratoire CREER de l'IMT Mines Alès pour l'accueil et le soutien des travaux. Merci particulièrement à Catherine BALIEU, à la directrice du laboratoire, Madame la Professeure Anne JOHANNET, à Tara SOULEYMANI, et à tout le personnel.

Je témoigne également de ma reconnaissance à la Direction de l'Institut Supérieur des Mines et Géologie de Boké, ainsi qu'à tout le corps enseignant.

J'adresse mes sincères remerciements aux rapporteurs qui ont accepté d'évaluer ce travail : Madame Laurence MAURICE, Directrice de Recherche IRD, au Laboratoire Géosciences Environnement de Toulouse (GET), de l'Université de Toulouse, et Monsieur Yann GUNZBERGER, Professeur à l'Université de Lorraine. Merci également à l'ensemble des membres du jury d'avoir accepté d'examiner cette thèse : Madame Juliette CERCEAU, Monsieur Damien GOETZ, Madame Anna DESSERTINE, et Madame Camille JAHEL.

Enfin, je tiens à remercier ma maman Kadia DOUMBOUYA et ma grand-mère Nounfadima DOUMBOUYA pour leurs prières ; ma femme Nansira CAMARA pour sa patience, son amour et sa disponibilité à s'occuper de la famille ; mes enfants Mohamed et Moussa pour leur patience face à mes multiples absences. Merci également à mes frères et sœurs, à mes oncles pour leur soutien à la réalisation de cette thèse. Je leur adresse, à chacune et chacun, mes sentiments de gratitude et de reconnaissance.

TABLE DES MATIERES

DÉDICACE **2**
REMERCIEMENTS **3**
TABLE DES MATIERES **5**
LISTE DES TABLEAUX **9**
LISTE DES FIGURES **10**
RESUME **11**
CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE **14**
1.1. La Guinée un « scandale géologique » 14
La bauxite : poumon du secteur minier guinéen 15
Le fer : un enjeu stratégique et un objet de convoitise 16
L'or : une ressource pluriséculaire 17
1.2. L'exploitation minière artisanale et de petite échelle, une activité ancienne sous de nouvelles formes 17
1.3. Enjeux et complexité de ces changements 19
1.4. Présentation générale de la thèse et organisation du manuscrit 22
CHAPITRE II : ETAT DE L'ART ET PROBLEMATISATION DU TRAVAIL DE RECHERCHE **25**
2.1. Etat de l'art sur l'exploitation minière artisanale dans le Monde et en Afrique de l'Ouest en particulier 25
2.1.1. De l'exploitation de l'or dans le Monde et en Afrique de l'Ouest en particulier 25
2.1.2. L'EMAPE en Afrique de l'Ouest et en Guinée : les facteurs d'un développement contemporain 27
2.1.3. De la définition de l'exploitation minière artisanale et à petite échelle 28
2.1.4. Trajectoires et transformations sociotechniques de l'orpaillage 31
2.2. Etat des connaissances sur les impacts socioéconomiques, environnementaux et sanitaires de l'EMAPE 38
2.2.1. Controverses autour de l'importance économique et sociale d'EMAPE 38
2.2.2. Impacts environnementaux et sociaux de l'EMAPE 44
2.3. Un verrou pour la recherche et sur le terrain : comprendre et transformer les pratiques de l'EMAPE 49
2.3.1. Essais-erreurs de la formalisation du secteur de l'EMAPE 49
2.3.2. Recherche et développement pour le suivi des impacts environnementaux de l'EMAPE 56
2.3.3. La nécessité d'une approche adaptée pour la compréhension des dynamiques locales 60
2.4. Problématique, objectifs et hypothèses de travail 63

2.5. Plan du manuscrit 65
CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES 68
3.1. La Guinée comme cas d'étude des dynamiques de l'orpaillage 68
3.2. Matériel : Contexte de la zone d'étude 69
3.1.1. Contexte géologique 70
3.1.2. Contexte géographique 73
3.1.3. Contextes démographique et économique 74
3.1.4. Petite histoire de l'EMAPE dans la zone d'étude 75
3.2. Méthode 78
3.2.1. Pluridisciplinarité, interdisciplinarité, transdisciplinarité à l'épreuve du terrain 78
3.2.2. Techniques de collecte de données et d'analyse 82
CHAPITRE IV : INNOVATIONS TECHNIQUES, TRANSFORMATIONS SOCIOPOLITIQUES ET ENJEUX DE FORMALISATION DE L'EMAPE EN HAUTE-GUINEE 90
4.1. Introduction 90
4.1.1. Transformations sociales à l'aune du *bé*, système de gouvernance de l'orpaillage essentiel en Haute-Guinée 91
4.1.2. Transformations techniques à l'aune des innovations à petite échelle 92
4.2. Article 1 : Mechanization of artisanal and small-scale gold mining in Guinea: Socio-technical trajectory of a rural mining site in Upper Guinea 94
4.2.1. Introduction: technical innovations and socio-economic reconfigurations of ASGM practices in Guinea 95
4. 2.2. Case study: Balato district, Kintinian sub-prefecture, Guinea 100
4.2.3. Minor technical innovations, major socio-economic reconfigurations 107
4.2.4. Discussion 115
4.2.5. Conclusion 120
4.3. Discussions/Conclusions : Dynamiques sociotechniques et enjeux de formalisation du secteur de l'EMAPE 121
4.3.1. Innovations technologiques et durabilité : les questionnements des orpailleurs 122
4.3.2. Fragilisation des autorités coutumières et informalité 125
CHAPITRE V : TELEDETECTION, UNE NOUVELLE TECHNOLOGIE AU SERVICE DE LA FORMALISATION DE L'EMAPE ? 128
5.1. Introduction 128
5.1.1. Conséquences environnementales et formalisation de l'EMAPE 128
5.1.2. Géomatique, télédétection et suivi environnemental de l'impact de l'EMAPE 128
5.2. Article 2: Mapping and analysis of the expansion of artisanal gold mining in upper guinea using remote sensing 130

5.2.1. Introduction 131
5.2.2. Materials and Methods 134
5.2.3. Results 142
5.2.4. Discussion 150
5.2.5. Conclusion 151
5.3. Discussion / Conclusion : des limites de la télédétection pour accompagner la formalisation du secteur 152
5.3.1. Des limites techniques de la télédétection : quelle fiabilité pour un suivi précis de l'EMAPE ? 153
5.3.2. Des questionnements éthiques : usages des données de la télédétection et rapports de force 153
CHAPITRE VI : CARTOGRAPHIE PARTICIPATIVE ET EMPOWERMENT DES ACTEURS LOCAUX POUR UNE TRANSFORMATION DES PRATIQUES DE L'EMAPE 156
6.1. Introduction 156
6.1.1. L'enjeu de la rupture de confiance entre acteurs institutionnels et acteurs locaux 156
6.1.2. La cartographie comme espace de dialogue retrouvé 157
6.2. Article 3 : Transformation des pratiques d'orpaillage : l'usage de la cartographie participative pour analyser les représentations des acteurs locaux 157
6.2.1. Introduction 158
6.2.2. Matériel et méthode 163
6.2.3. Résultats et discussion 171
6.2.4. Conclusions 182
6.3. Discussion / Conclusion : de la cartographie comme objet-frontière 184
6.3.1. La cartographie comme objet-frontière : interdisciplinarité 185
6.3.2. La cartographie comme objet-frontière : transdisciplinarité 188
CHAPITRE VII : DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALE : AU PRISME DE LA SCIENCE DE LA DURABILITE 192
7.1. Contributions de notre travail de recherche 193
7.1.1. Comment des innovations techniques induisent-elles des changements dans la gouvernance de l'EMAPE et questionnent-elles les politiques de formalisation du secteur ? 193
7.1.2. Quel rôle la télédétection, en tant qu'innovation technique, peut-elle jouer pour une gestion durable de l'orpaillage ? 195
7.1.3. Comment peut-elle contribuer à la prise en main, par les acteurs locaux, de la mise en œuvre d'une gestion durable de leurs ressources et de leurs pratiques ? 196
7.2. Questionner l'EMAPE à l'aune de la Science de la Durabilité 197
7.2.1. Les défis de l'EMAPE pour la science de la durabilité et la science transformative 197
7.2.2. Au-delà du principe, comment mettre en œuvre la science de la durabilité ? 199

7.2.3. De la pertinence de maintenir les institutions coutumières dans les projets de formalisation du secteur 200
7.3. Pistes pour de futures recherches sur l'orpaillage en Guinée 201
7.3.1. De la difficile mise en place des couloirs d'orpaillage : questionner les limites spatiales de la formalisation pour s'adapter aux dynamiques territoriales locales 202
7.3.2. De l'ignorance des distinctions entre orpailleurs et commerçants : explorer en détail la structuration de la chaîne de valeur de l'orpaillage pour éviter de durcir les inégalités 204
7.4. Synthèse de la thèse 208
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 210
ANNEXES 239
A1 : Guide d'entretiens 239
A2 : Fiches d'enquête 240
A3 : Exportation d'or (once) de la Guinée 249
A4 : Cadastre minier de la Guinée 250

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Résumé des méthodes de recherche utilisées et des données générées 81
Tableau 2: Main LULC 137
Tableau 3 : Confusion Matrix of Random Forest (RF)..... 144
Tableau 4 : Confusion Matrix of SVM for the year 2023..... 145
Tableau 5 : Area and average annual rate of spatial Expansion 147
Tableau 6 : Caractéristiques des participants..... 167

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Cadre géologique et principales ressources minérales de la Guinée adoptée de Mamedov et al., 2010 15
Figure 2 : Evolutionn de l'exportation d'or de la Guinée 20
Figure 3 : Production d'or dans le monde en 2017 27
Figure 4 : illustration de l'évolution technologique de l'orpaillage ; a) Pelle mécanique, b) camion, c) moulin, d) concasseur, e) marteau piqueur, f) détecteur de l'or. 34
Figure 5 : Articulation des chapitres autour des questions de recherche de la thèse 66
Figure 6 : Présentation de la zone d'étude 71
Figure 7 : Une Mine à Bouré Mollet et Cie dans De Berques, A., (1907), L'or à la Guinée française, La Dépêche coloniale illustrée, vol. 7, n°23, p. 5-20. 77
Figure 8 : Schéma méthodologique 82
Figure 9 : Entête de l'article publié 94
Figure 10 : Presentation of the study area and various activities. 103
Figure 11 : Sociotechnical dynamics of ASGM in a mechanized context before 2019. 107
Figure 12 : Timeline of technical innovations (in red, major technical innovations; in black, minor technical innovations). (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.) 108
Figure 13 : crusher used to process low-grade ore. 109
Figure 14 : Gold prospectors testing the surface the ore with the detector, 2022. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.) 111
Figure 15 : a) Solonin, manual devise to lift the ore and b) fan, devise for ventilating the mining shaft 113
Figure 16 : Sociotechnical dynamics of ASGM in a mechanized context after 2019. 114
Figure 17 : Map of the study area: geological and topographic map of Siguiri modified from (V. Mamedov et al., 2010). 136
Figure 18 : Elevation change produced by the difference between SRTM and TanDEM-X DEMs, clearly identifying the industrial mine on the Google Earth Pro image. 141
Figure 19 : Results of the land use and land cover mapping for the year 2023. 143
Figure 20 : Expansion of gold mining 148
Figure 21 : Visible environnemental impact of gold mining 149
Figure 22 : Les principales phases et étapes de la cartographie participative adaptée de Kankeu et Tiani (2014) 166
Figure 23 : Cartes papiers des orpailleurs (à gauche la représentation spatialisée pour 2010, à droite celle pour 2024) 172
Figure 24 : Cartes numérisées des orpailleurs 172
Figure 25 **:** Cartes papier des acteurs institutionnels 173
Figure 26 : Cartes numérisées des acteurs institutionnels 173

NB : l'Intelligence Artificielle a été mobilisée uniquement pour la mise en forme finale de certains paragraphes de ce manuscrit.

RESUME

Depuis les années 2000, l'orpaillage – exploitation artisanale de l'or connait une intensification en Guinée, malgré les tentatives de formalisation initiées par le gouvernement. Depuis les années 2010, l'orpaillage dans la préfecture de Siguiri, a connu l'introduction de diverses innovations technologiques, notamment des concasseurs, des détecteurs, des marteaux piqueurs et des motopompes dans le processus d'extraction et de traitement de l'or. Ces évolutions transforment non seulement les pratiques de l'orpaillage, mais aussi la gouvernance locale et questionnent les enjeux de formalisation. Cette thèse a pour objectif de (1) documenter les transformations sociotechniques à l'œuvre avec l'apparition de la mécanisation sur les sites d'orpaillage (2) questionner le rôle de la télédétection dans la gestion durable de l'orpaillage (3) tester la cartographie participative comme espace de dialogue renouvelé entre acteurs institutionnels et orpailleurs pour une plus grande durabilité du secteur.

Pour atteindre ces objectifs, la thèse mobilise des méthodes quantitatives, qualitatives et participatives. Des entretiens individuels et collectifs ont été réalisés avec les acteurs locaux pour documenter et analyser les dynamiques socio-politiques induites par la mécanisation. Des images satellite Landsat ont été analysées pour quantifier l'évolution spatiale des sites d'orpaillage de 2008 à 2023. Des ateliers de cartographie participative ont été réalisés avec les acteurs locaux pour analyser leurs perceptions.

Nos résultats ont montré que les innovations technologiques même à petit échelle peuvent conduire à une reconfiguration des rapports de pouvoirs au niveau local. En particulier, nos résultats montrent la place de plus en plus prépondérante que jouent certains organes déconcentrés (comme le bureau de district) et les propriétaires coutumiers fonciers au détriment de l'institution coutumière historique du *tomboloma*. Il en découle un processus d'expansion des sites et l'intensification de l'activité d'orpaillage entre 2008 et 2023. Enfin, nous constatons que les différents acteurs impliqués dans l'EMAPE (acteurs institutionnels, d'un côté; orpailleurs, de l'autre) développent des perceptions contrastées. Dans ce contexte, la carte apparaît comme objet de dialogue autours des politiques de « formalisation » et de « modernisation » de l'orpaillage. Dans le futur, il serait pertinent d'explorer comment ces outils peuvent renforcer les capacités d'anticipation des communautés locales face aux transformations rapides des territoires miniers, en vue de construire une gouvernance plus inclusives et durable.

SUMMARY

Since 2000, artisanal gold panning has intensified in Guinea, despite attempts by the government to formalise the industry. Since the 2010s, gold panning in the Siguiri prefecture has seen the introduction of various technological innovations, including crushers, detectors, pneumatic hammers and motor pumps in gold extraction and processing. These developments are transforming not only gold panning practices, but also local governance, and are raising questions about formalisation. The aim of this thesis is (1) to document the socio-technical transformations at work with the advent of mechanisation on gold panning sites (2) to question the role of remote sensing in the sustainable management of gold panning (3) to test participatory mapping as a space for renewed dialogue between institutional stakeholders and gold panners for a greater sustainability of the sector.

To achieve these objectives, the thesis uses quantitative, qualitative and participatory methods. Individual and group interviews were conducted with local stakeholders to document and analyse the socio-political dynamics induced by mechanisation. Landsat satellite images were analysed to quantify the spatial evolution of gold panning sites from 2008 to 2023. Participatory mapping workshops were held with local stakeholders to analyse their perceptions.

The results of the interviews showed that technological innovations, even on a small scale, can lead to a reconfiguration of power relationships at local level. In particular, our results show the increasingly dominant role played by certain deconcentrated bodies (such as the district office) and customary landowners to the detriment of the historic customary institution of the *tomboloma*. The result is a process of expansion of the sites and intensification of gold panning activity between 2008 and 2023. We note that the different social groups involved in EMAPE (institutional players on the one hand, gold panners on the other) are developing contrasting perceptions. In this context, the map appears to be an object of dialogue around the policies of ‘formalisation’ and ‘modernisation’ of gold panning. In future, it would be useful to explore how these tools could strengthen the ability of local communities to anticipate rapid changes in mining areas. This could inform the development of more inclusive and sustainable governance.



INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

1.1. La Guinée un « scandale géologique[1] »

La République de Guinée dispose d'un potentiel exceptionnel en ressources naturelles, tant dans son sol que dans son sous-sol, susceptibles de constituer un levier pour son développement socioéconomique. La géologie du pays (Mamedov *et al.,* 2010), dominée par le socle cristallin (les formations de l'archéen au protérozoïque inférieur), a permis la concentration d'importantes ressources minérales. Le nord-ouest – centre du pays renferme la plus vaste réserve mondiale de bauxite, constituant le véritable pilier de l'industrie minière de la Guinée. Cette région, caractérisée par des schistes du silurien et des grès de l'ordovicien, a été marquée par l'intrusion des dolérites au cours du Miocène, ayant conduit à la formation des dépôts latéritiques riches en bauxite.

Par ailleurs, le nord-est du pays, constitué principalement des formations métamorphiques (domaine birrimien), concentre l'essentiel des ressources aurifères du pays. Enfin, le sud-est, une vaste zone éruptive, contenant des itabirites, abrite les gisements de fer du complexe Simandou – Nimba. En outre, les corps kimberlitiques localisés dans les roches cristallines ont permis la mise en place de gisements de diamants.

Par ailleurs, d'autres minéraux utiles sont également recensés, bien qu'ils ne fassent actuellement l'objet d'aucune valorisation industrielle, notamment le nickel, l'uranium, le titane, ou le cuivre. Cette diversité des richesses minières conduit certains observateurs à qualifier la Guinée de « scandale géologique ». La figure 1 présente les principales ressources minérales de la Guinée.

[1] L'expression « scandale géologique » a été utilisée pour la première fois par le géologue belge Jules Cornet en 1906 pour décrire l'immensité et la diversité des ressources minières du Congo. Depuis, cette expression a souvent été étendue à d'autres états africains.

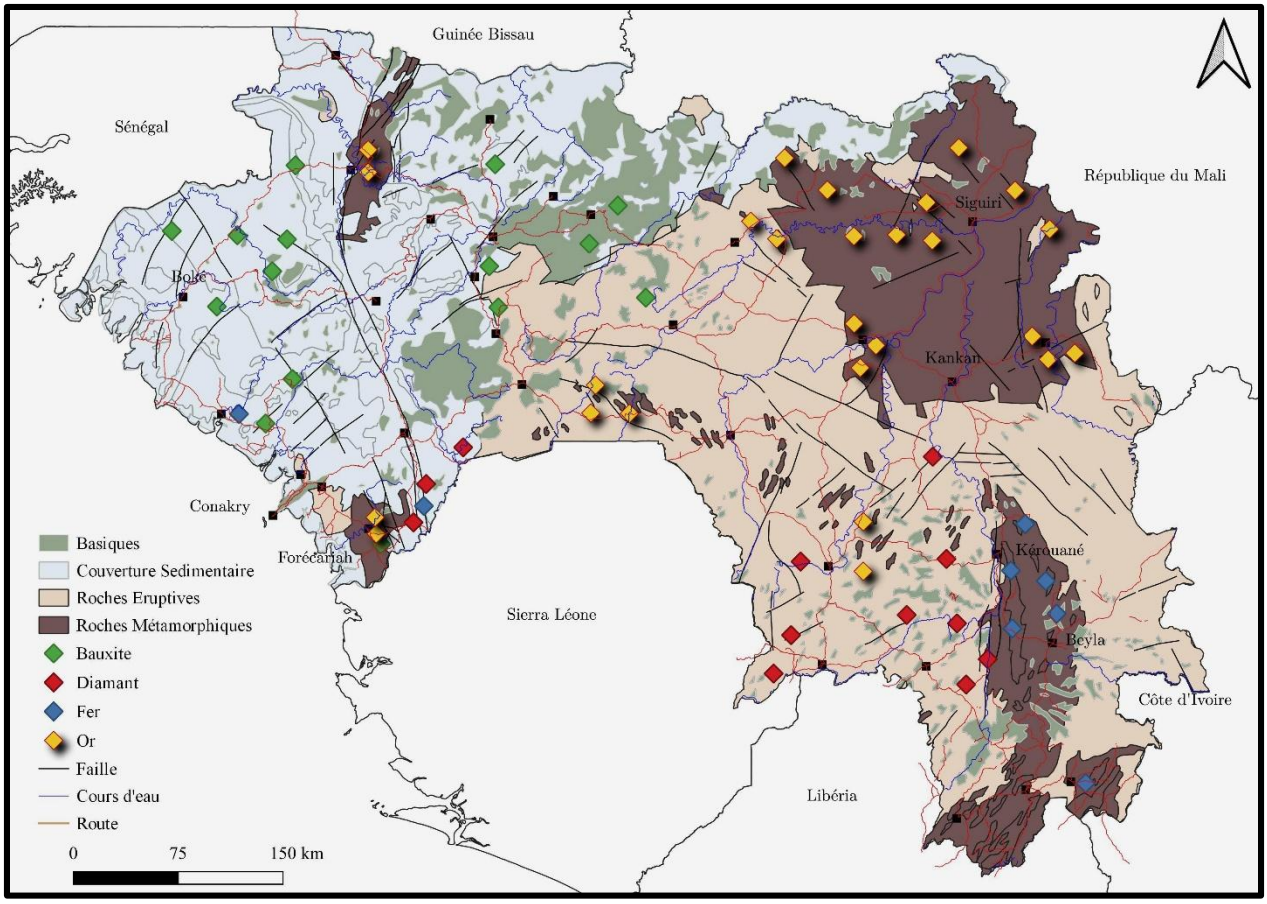


Figure 1 : Cadre géologique et principales ressources minérales de la Guinée adoptée de Mamedov et al., 2010

La bauxite : poumon du secteur minier guinéen

La Guinée se distingue à la fois comme le premier exportateur mondial de bauxite et comme détentrice de la plus grande réserve de bauxite connue au monde (USGS, 2024). Depuis 2017, le pays est devenu une destination privilégiée pour les investisseurs étrangers du secteur, notamment la région de Boké qui détient à elle seule près de 23 milliards sur les 40 milliards de tonnes de réserves estimées du pays. En 2018, l'exportation de la bauxite représentait les deux tiers des revenus miniers de l'Etat (ITIE, 2020) et environ 63 % de la production minière totale nationale (Mogues, 2021). La production de la bauxite est assurée par une dizaine d'entreprise de diverses nationalités : américaines, australiennes, britanniques, canadiennes, chinoises, émiraties, françaises, indiennes, russes et singapouriennes (Barry, 2022). L'entrée en activité de la Société Minière de Boké (SMB) a marqué un tournant dans le secteur de la bauxite en Guinée: en trois ans, la production nationale a triplé, atteignant 60 millions de tonnes exportées en 2018. Cette progression

s'est poursuivie jusqu'à atteindre 120 millions de tonnes en 2023, confirmant ainsi, l'essor du secteur bauxitique. Depuis, la principale entreprise en Guinée est désormais SMB-Winning, un consortium franco-sino-singapourien représentant plus de 58 % de la production en 2018. CDM Chine (Henan) est également en passe de devenir un acteur majeur. Les opérateurs historiques, la Compagnie des Bauxites de Guinée (CBG), entreprise supranationale, exploitant le gisement de Sangarédi et détenue à 49 % par l'État guinéen et à 51 % par un consortium incluant Rio Tinto Alcan, Alcoa et Dadco, joue désormais un rôle moins central, tout comme la Compagnie des Bauxites de Kindia, filiale de Rusal, qui ne représente que 6 % de la production.

Le fer : un enjeu stratégique et un objet de convoitise

Si la bauxite constitue le socle de l'économie minière guinéenne, le fer en représente l'un des principaux leviers d'avenir. Bien que la production actuelle reste limitée, en partie en raison de la faible qualité des gisements exploités jusqu'ici, les réserves de fer de la Guinée sont estimées à environ 10 milliards de tonnes (Mamedov *et al.,* 2010). Parmi ces réserves, le complexe Simandou – Nimba suscite un intérêt stratégique pour le pays à cause des recettes budgétaires qu'il pourrait générer à l'avenir. Le gisement de Simandou, considéré comme la plus grande réserve de fer inexploitée au monde, est aujourd'hui un projet ambitieux estimé à 15 milliards de dollars prévoyant la construction d'un chemin de fer « Trans-Guinée » et d'un port. Le chemin de fer long de 670 km traverse presque tout le pays pour transporter le minerai jusqu'au port situé dans la préfecture de Forécariah. D'après le projet, le chemin de fer, au-delà du transport du minerai, sera ouvert à d'autres usages notamment le transport des marchandises permettant ainsi la connexion des régions du pays. L'objectif fixé pour le projet est une entrée en production en 2025, avec une capacité annuelle de 95 millions de tonnes à pleine exploitation, la Guinée pourrait devenir un acteur majeur de la production du fer au monde. Le Projet Simandou est géré par Simfer SA, titulaire de la concession, dont les principaux actionnaires sont Rio Tinto et Chalco, confirmant l'implication de grands acteurs internationaux nord-sud.

L’or : une ressource pluriséculaire

En Guinée, l’exploitation artisanale de l’or s’effectue dans 13 préfectures réparties en quatre principales zones. Tout d’abord, la haute Guinée, qui représente un intérêt économique majeur notamment les préfectures de Siguiri, Kouroussa, Kankan, Mandiana, et Dinguiraye, d'où provient presque toute la production nationale. Les gisements de cette région affichent des teneurs en or élevées, allant de 5 à 10 g/tonne. L’activité d’orpaillage est très ancienne dans cette région, en particulier autour de Siguiri dans les régions du Bouré et de Séké. Des indices d’or se rencontrent au sud du pays notamment à Nzérékoré (Gama, Yomou et Karama), avec des teneurs comprises entre 1 et 4 g/tonne. La troisième zone, Mamou-Faranah, est située entre les rivières Kaba et Mongo, où les teneurs sont relativement basses. Enfin, la quatrième zone aurifère est celle de Kindia, le long des cours d'eau Méyenkené et Kibesso, à proximité du village de Boko. Des indices aurifères ont également été repérés au Fouta notamment à Labé et Koundara (Goloubinow, 1936). Depuis 2021, l’exploitation artisanale s’est aussi développée dans la préfecture de Gaoual après la découverte d’un important filon.

L’opérateur historique, AngloGold Ashanti (SAG), exploite la mine de Kintinia depuis 1996 et est détenu à 15 % par l’État guinéen. Cette entreprise représente à elle seule près de la moitié de la production industrielle. Par ailleurs, Managem s’affirme progressivement comme un acteur clé du secteur.

Cependant, la production d’or en Guinée reste largement dominée par l’exploitation artisanale et de petite échelle (EMAPE), qui contribue à hauteur de 74 % de la production totale en 2023. Cette année-là, la production nationale atteignait 78 tonnes, soulignant l’importance de cette activité pour le secteur aurifère guinéen (MMG, 2024).

1.2. L’exploitation minière artisanale et de petite échelle, une activité ancienne sous de nouvelles formes

L’exploitation minière artisanale et à petite échelle (EMAPE) constitue une activité pluriséculaire qui a joué un rôle fondamental dans l’histoire des grands empires ouest-africains et a contribué de manière significative au rayonnement des civilisations de cette région (Keita, 2001). Dès les débuts du Moyen Âge,

l'extraction de l'or a constitué une source majeure de richesse et de puissance pour des entités politiques telles que les empires du Ghana et du Mali (Mbodj, 2011). Concentrée dans des régions historiques telles que le Bouré (Guinée), le Bambouk (Sénégal-Mali), les territoires Lobi (Burkina Faso - Côte d'Ivoire) et Akan (Côte d'Ivoire-Ghana), cette activité a favorisé l'émergence de pôles régionaux d'échanges commerciaux entre l'Afrique de l'Ouest et le monde arabo-européen jusqu'au début du XX^{ème} siècle (Dessertine *et al.*, 2022; Mbodj, 2011). Ce riche patrimoine minier est également associé à des figures historiques comme Kaya-Magan Cissé qui signifie le « maitre de l'or », souverain de l'empire du Ghana et Kankou Moussa, l'empereur du Mali, dont le pèlerinage à La Mecque entre 1324 et 1325 a marqué l'histoire par la quantité d'or qu'il aurait distribuée, estimée entre 10 et 13 tonnes d'or (Mbodj, 2011). Cette générosité provoqua d'importants déséquilibres monétaires au Caire pendant plusieurs décennies et laissa une empreinte durable en Occident, où cartes et portulans représentaient le roi du Mali tenant de l'or en main (Mbodj, 2011; Devisse, 1990). L'image de Kankou Moussa popularisée par la légende selon laquelle il aurait affirmé au Caire « Je suis l'or ! », fut reprise des siècles plus tard par la société « I am gold », qui opère aujourd'hui largement en Afrique de l'Ouest. Cependant, depuis le début des années 2000, l'EMAPE s'est intensifiée dans la sous-région ouest-africaine (Grätz, 2004). Si cette intensification est perçue comme un phénomène relativement récent dans certains pays, elle reflète, dans d'autres, une dynamique de réémergence, témoignant d'une continuité historique et d'un ancrage profond dans le temps long.

Par ailleurs, l'intensification de l'EMAPE s'inscrit dans des dynamiques plus larges observées à l'échelle régionale. D'une part, l'exploitation aurifère, initialement artisanale, a progressivement évolué vers la mécanisation impliquant l'utilisation de gros engins et de procédés chimiques. D'autre part, l'intensification de l'EMAPE s'accompagne de la migration souvent dans des contextes transfrontaliers, migration qui redessine les territoires miniers (Dessertine *et al.*, 2022; Afane et Gagnol, 2021) tout en favorisant la diffusion des savoir-faire, des techniques et des matériels (Lanzano, 2020). Cependant, bien que ces dynamiques soient similaires, leurs implications territoriales varient considérablement au niveau local.

1.3. Enjeux et complexité de ces changements

L'industrie minière est largement considérée comme un moteur de l'économie mondiale, en raison de son rôle significatif dans le développement socioéconomique des nations (Conseil International des Mines et Métaux, 2014).

L'économie guinéenne repose en grande partie sur le secteur minier et le pays compte tirer de ses ressources minières pour stimuler le développement socioéconomique et contribuer à la réalisation des objectifs de la Vision Guinée 2040. La Vision Guinée 2040 est une stratégie nationale de développement à long terme visant à bâtir à l'horizon 2040 « un pays émergent et prospère, maître de son destin, assurant un niveau élevé de bien-être à ses populations et garantissant l'avenir des générations futures » (Gouvernement, 2012). Afin de redynamiser le secteur minier, le code minier de 1996 (qui était obsolète et restreignait les investissements) a été remplacé par un nouveau code minier en 2011, puis amendé en 2013. Ce nouveau code minier se veut plus attractif et accorde en conséquence beaucoup d'exonérations aux entreprises minières étrangères pour attirer les investissements étrangers. En conséquence, l'exploitation industrielle se développe toutes substances confondues. En 2020, le pays comptait 428 titres miniers aurifères (Or, Or et minéraux associés) en vigueur et qui couvraient 25 732 km², dont 24 824 km² attribués à l'exploitation industrielle, soit environ 10 % du territoire national, contre seulement 652 km² réservés à l'exploitation artisanale (Comité de pilotage ITIE, 2022). Aujourd'hui, les produits miniers représentent 90 % des exportations totales de la Guinée et 22 % de son PIB (Mogues, 2021). Malgré le poids du secteur minier dans l'économie, son potentiel d'amélioration du bien-être des Guinéens reste limité, au-delà des recettes publiques qu'il pourrait générer. Par exemple, l'exploitation minière industrielle ne représente qu'environ 6,5 % de l'emploi formel (Mogues, 2021), alors que 12 % de la population dépendent directement ou indirectement de l'exploitation minière artisanale notamment dans les zones rurales (Sylla *et al.*, 2017). Par ailleurs, la production aurifère artisanale est en constance augmentation depuis plusieurs années comme l'illustre la figure 2.

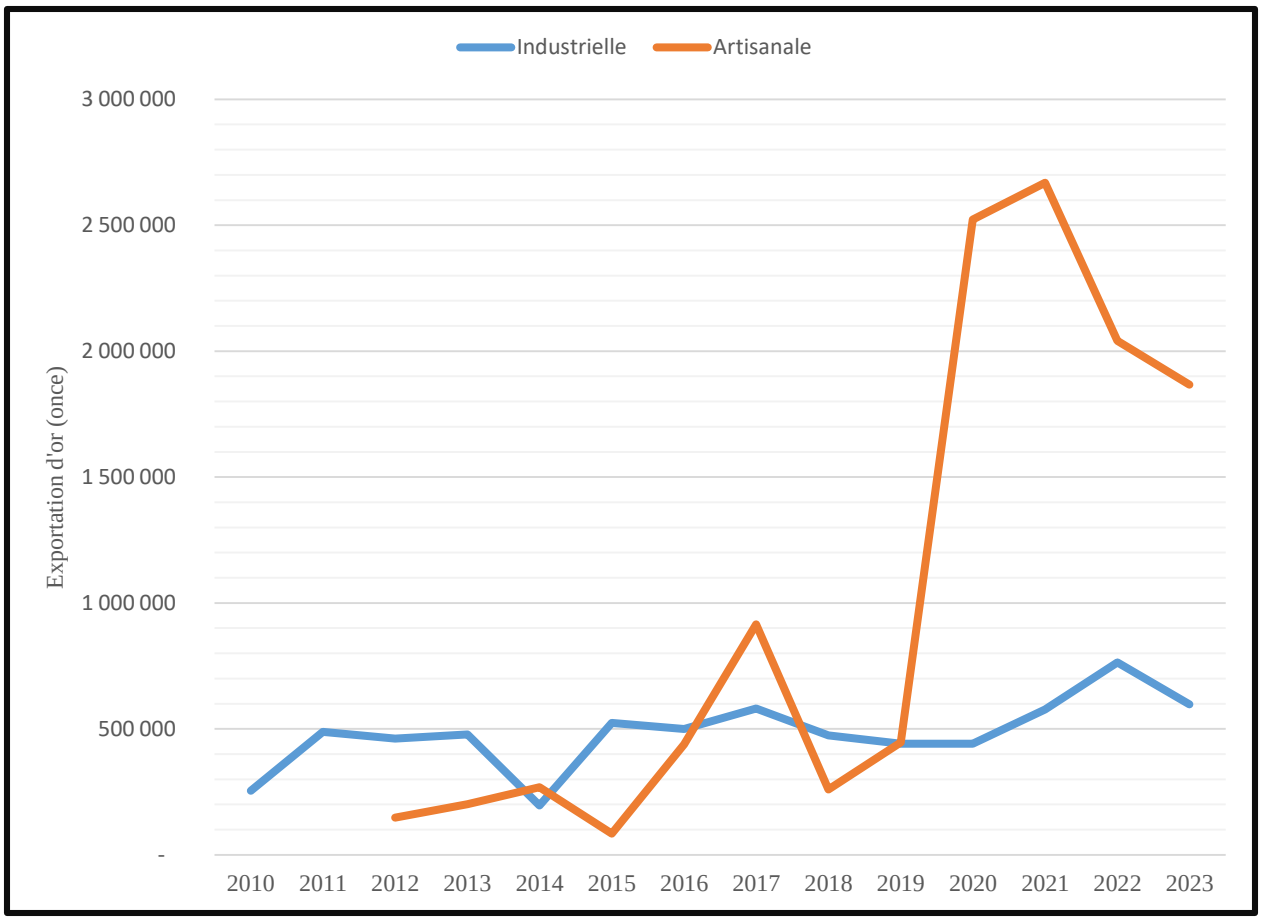


Figure 2 : Evolutionn de l'exportation d'or de la Guinée

Cependant, cette croissance ne s'accompagne pas d'une extension correspondante des superficies officiellement allouées. En effet, entre 2020 et 2024, le nombre de zones légalement dédiées à l'orpaillage est resté quasi nul (Comité de pilotage ITIE, 2024). Cette dynamique limite fortement l'accès aux ressources pour les orpailleurs artisanaux qui sont parfois obligés d'opérer sur les permis industriels de manière « illégale ».

Dans ce contexte, l'Etat cherche à l'intégrer dans le cadre national et la législation minière a progressivement évolué afin de mieux encadrer l'EMAPE. Le code minier révisé lui consacre désormais une section spécifique, et plusieurs articles définissent les conditions d'exercice de l'exploitation artisanale. En effet, au-delà de son rôle économique et social crucial, particulièrement en matière d'emploi et de revenu

local, l'intensification de l'EMAPE continue de soulever d'importantes préoccupations socio-environnementales.

En effet, si l'EMAPE contemporaine s'inscrit dans des processus socio-économiques de redistribution de richesse – de l'échelle locale à l'échelle nationale – son intensification entraîne également des conséquences environnementales importantes. Les impacts environnementaux principaux sont la destruction de la végétation (enlèvement de la couche végétale, coupe des arbres pour soutenir les puits), l'érosion des sols, ainsi que la pollution des sols et des eaux, principalement liée à l'utilisation accrue de substances chimiques telles que le cyanure ou le mercure pour l'amalgamation du minerai (Sawadogo, 2021; Bansah *et al.,* 2018). Par ailleurs, il est largement reconnu que l'EMAPE présente une multitude de risques pour la santé notamment les maladies et les décès (Cossa *et al.,* 2021). Bien qu'il soit difficile de disposer de données exhaustives, les décès liés aux éboulements ainsi que les attaques à main armée sont très fréquents sur les sites d'orpaillage et dans les villages environnants. Selon les chiffres de la Croix-Rouge locale, la préfecture de Siguiri a enregistré 483 décès[2] liés aux éboulements en 2023. À ces accidents s'ajoutent le risque de nombreuses pathologies pouvant affecter non seulement les mineurs eux-mêmes, mais aussi leurs familles, les communautés riveraines, et les populations vivant en amont ou en aval des sites d'EMAPE (Mensah *et al.,* 2022; Nakazawa *et al.,* 2016). On constate ainsi dans les sites d'orpaillage une explosion de maladies cardiovasculaires, de troubles respiratoires, d'allergies, les IST, entre autres affections chroniques. Ces problèmes de santé sont souvent aggravés par l'absence d'infrastructures médicales adaptées dans les zones concernées, ainsi que par l'exposition prolongée à des substances toxiques telles que le mercure, utilisées dans les procédés de traitement du minerai.

Face à ces problématiques, la question de durabilité est de plus en plus abordée par les gouvernements et les acteurs de développement. Dans cette optique, la formalisation constitue depuis deux décennies l'un des leviers majeurs mobilisés pour encadrer l'EMAPE. Elle vise à intégrer les exploitants dans un cadre légal

[2] https://guineenews.org/2024/01/14/siguiri-en-2023-483-orpailleurs-ont-perdu-la-vie-croix-rouge/?amp=1

et réglementaire, supposé favoriser des pratiques plus responsables, améliorer les conditions de travail, réduire les impacts environnementaux et assurer une meilleure captation de la rente minière par l'État. Toutefois, les politiques de formalisation peinent souvent à atteindre leurs objectifs sur le terrain, en raison de leur inadéquation aux pratiques existantes. Dans le quotidien des mineurs artisanaux, les enjeux de durabilité environnementale et sanitaire sont souvent relégués au second plan, face à des impératifs économiques immédiats. Concilier ces positions divergentes (voire contradictoires) constitue un défi majeur pour assurer la durabilité de l'EMAPE. Dans la suite de ce travail, nous entendons par durabilité, la capacité des institutions à gérer les ressources aurifères de manière à générer des progrès environnementaux et sociaux, tout en préservant la santé, la sécurité et l'accès équitable aux ressources pour les mineurs, les communautés locales et pour des générations futures (Gorman & Dzombak, 2018).

Dans cette thèse, nous voulons montrer que la mécanisation de l'exploitation artisanale de l'or en Guinée, a des répercussions profondes sur les dynamiques socio-spatiales et environnementales, qui en viennent à remettre en question les politiques de régulation, de formalisation et de modernisation de l'EMAPE.

1.4. Présentation générale de la thèse et organisation du manuscrit

Cette thèse s'inscrit ainsi dans une démarche d'analyse des effets de la mécanisation dans l'exploitation minière artisanale de l'or. Bien que les problématiques de la mécanisation abordées dans cette thèse puissent s'appliquer à d'autres contextes ouest-africains, la présente étude se concentre sur la préfecture de Siguiri, située au nord-est de la Guinée, considérée ici comme zone d'étude. Elle adopte une approche pluridisciplinaire et participative, en mobilisant des outils de télédétection, des systèmes d'information géographique (SIG), des méthodes des sciences sociales et de recherche participative. Cette combinaison méthodologique permet d'appréhender les transformations socio-spatiales et environnementales complexes induites par l'introduction des technologies mécanisées.

La thèse s'inscrit dans le cadre du projet RAMR2D (Activité Minière Responsable & Développement Durable), financé par le programme ACE Partner jusqu'en 2024. Ce projet, issu d'une collaboration

institutionnelle entre la Banque Mondiale, l'Association des Universités Africaines (AUA), l'Agence Française de Développement (AFD), l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et l'INRIA, vise à élaborer de nouveaux paradigmes basés sur un dialogue multiacteurs et transdisciplinaire, afin de répondre aux problématiques émergentes liées à l'exploitation minière artisanale.

Le manuscrit est structuré en cinq chapitres. Le premier chapitre établit l'état de l'art permettant d'affiner la problématisation du travail de recherche, définit les objectifs de recherche et détaille les questions clés étudiées. Le deuxième chapitre présente l'approche méthodologique, décrit les outils mobilisés et la collecte des données, ainsi que le contexte spécifique de la zone d'étude. Les chapitres suivants exposent les résultats principaux sous forme d'articles scientifiques : le troisième chapitre traite des innovations technologiques dans l'EMAPE et de leurs impacts sur la gouvernance locale, puis montre comment la mécanisation redéfinit les rapports de pouvoir au niveau local. Le quatrième chapitre explore l'intérêt et les limites de la télédétection et de l'analyse des images satellitaires pour rendre compte de l'expansion spatiale et temporelle de l'activité minière. Le cinquième chapitre explore le potentiel de la cartographie participative pour impliquer les populations locales dans l'analyse des effets locaux de la mécanisation et la prise de décision quant au changement de pratiques. Enfin, la discussion générale et la conclusion générale mettent en perspective les résultats obtenus, discutet leurs implications théoriques et pratiques au regard de la science de la durabilité et ouvrent des perspectives pour de futures recherches.

Chapitre II : Etat de l'art et problématisation du travail de recherche

« Avocat : Mais la base de l'activité de la banque est le crédit, n'est ce pas ?

J.P. Morgan : Pas toujours. C'est une activité évidente de la banque, mais ce n'est pas la monnaie elle-même. La monnaie c'est l'or, et rien d'autre. »

J.P. Morgan (1912)

CHAPITRE II : ETAT DE L'ART ET PROBLEMATISATION DU TRAVAIL DE RECHERCHE

Ce chapitre vise à établir l'état de l'art qui justifie la formulation des objectifs et des questions de recherche de cette thèse. Dans un premier temps, une revue de la littérature sur l'EMAPE sera proposée, avec une attention particulière portée à ses impacts socioéconomiques et environnementaux, à l'échelle internationale, régionale, puis nationale de la Guinée.

Ensuite, seront analysés les efforts – souvent infructueux – de formalisation de l'EMAPE, visant à intégrer cette activité dans les économies formelles tout en cherchant à mieux gérer ses impacts environnementaux et sociaux.

Enfin, les apports et les limites de la recherche-développement pour mesurer et analyser les changements environnementaux sur les territoires miniers seront examinés, en mettant en lumière l'importance de la transdisciplinarité, qui permet une meilleure compréhension des dynamiques complexes liées à l'EMAPE.

Ce chapitre se conclura par une présentation détaillée de la problématisation du travail de recherche, à travers la définition des objectifs, des questions de recherche, ainsi que de la structure générale de la thèse.

2.1. Etat de l'art sur l'exploitation minière artisanale dans le Monde et en Afrique de l'Ouest en particulier

2.1.1. De l'exploitation de l'or dans le Monde et en Afrique de l'Ouest en particulier

L'or, l'un des métaux les plus prisés au monde, joue un rôle central dans l'économie mondiale et stimule l'activité minière sur presque tous les continents. Qu'il soit extrait de manière industrielle, semi-industrielle ou artisanale, ce métal précieux est produit dans de nombreuses régions riches en ressources aurifères. Selon les estimations récentes, les réserves mondiales d'or s'élèvent à environ 59 000 tonnes métriques, avec l'Australie, la Russie et l'Afrique du Sud en tête des pays riches en réserves, tandis que la Chine demeure le premier producteur mondial (USGS, 2024).

Par ailleurs, l'or tire sa valeur de sa grande diversité d'applications, allant de la bijouterie à la technologie, en passant par les réserves des banques centrales et autres institutions, ainsi que les investissements privés. Cette diversité de la demande, émanant de secteurs variés, permet au marché de l'or de se stabiliser malgré les fluctuations économiques mondiales. Cette stabilité confère à l'or une valeur durable en tant qu'actif d'investissement. Cela se manifeste notamment dans l'évolution remarquable de son prix moyen annuel, qui est passé de 271 à 2386 dollars américains entre 2001 et 2024 (London Bullion Market Association, 2025).L'exploitation industrielle de l'or est dominée par quelques acteurs majeurs à l'échelle mondiale, parmi lesquels Newmont, basée aux États-Unis, occupe la première place avec une production de 5,5 millions d'onces en 2023. D'autres grandes entreprises, telles que les canadiennes Barrick Gold et Agnico Eagle, ainsi que la sud-africaine AngloGold Ashanti, jouent également un rôle important dans ce secteur.

En Afrique, bien que l'industrie aurifère soit largement dominée par des compagnies minières internationales notamment canadiennes, sud-africaines et australiennes, l'EMAPE a pris une importance croissante ces dernières années. En 2022, la production d'or du continent était estimée à environ 1 102 tonnes, dont 54 % ont été produites par l'EMAPE (Ummel et Schulz, 2024), soulignant ainsi l'essor significatif de ce secteur. Cette recrudescence est en grande partie due à la découverte et l'exploitation de nouveaux gisements qui a déclenché une véritable ruée vers l'or, notamment en Afrique de l'Ouest, où des conditions géologiques favorables encouragent son exploitation. Toutefois, au-delà des aspects purement géologiques, le développement de l'EMAPE dans la région a également été influencé par d'autres facteurs politico-économiques et environnementaux. La figure 2 présente la production mondiale d'or.



Figure 3 : Production d'or dans le monde en 2017

2.1.2. L'EMAPE en Afrique de l'Ouest et en Guinée : les facteurs d'un développement contemporain

Dans de nombreux pays d'Afrique de l'Ouest, le développement de l'orpaillage est en grande partie attribué aux effets des réformes économiques encouragées par des institutions internationales telles que la Banque mondiale et le Fonds monétaire international (FMI). Ces réformes, connues sous le nom de « programmes d'ajustement structurel », visaient à privatiser et à libéraliser les économies africaines afin de stimuler la croissance économique. Toutefois, elles ont également eu des répercussions sociales importantes, entraînant notamment la fermeture de nombreuses entreprises publiques et la perte massive d'emplois. Au Ghana, par exemple, on estime qu'environ 278 000 emplois ont été supprimés à la suite de ces privatisations (Hilson et Potter, 2005). Face à un chômage massif et à l'aggravation de la pauvreté, une part croissante de la population s'est donc tournée vers l'EMAPE comme moyen de subsistance alternatif (Banchirigah, 2008). Cette activité, accessible sans formation formelle et nécessitant peu d'investissements, a rapidement pris de l'ampleur. En outre, l'essor de l'EMAPE a été accéléré par les réformes des codes miniers, destinées à attirer les investissements étrangers, facilitant ainsi l'acquisition de concessions minières par de grandes entreprises. Ces concessions, souvent situées dans des zones rurales où l'agriculture constitue la principale source de subsistance, ont perturbé les moyens de vie des communautés locales. Dans de nombreux cas, ces populations ont été déplacées et se sont retrouvées contraintes de se tourner vers l'EMAPE pour

survivre, faute d'alternatives économiques viables (Banchirigah, 2008). Dans certains pays comme le Burkina Faso, le Niger ou encore le Benin, les conditions climatiques défavorables, telles que les sécheresses, ont également contribué au développement de l'EMAPE (Luning, 2008; Grätz, 2004). Les mauvaises récoltes, dues aux changements climatiques ont poussé de nombreux agriculteurs à se tourner vers cette activité. Ainsi, pour de nombreuses communautés rurales confrontées à une faible productivité agricole, l'exploitation minière est devenue un moyen de subsistance vital (Hilson *et al.*, 2018; Yonlihinza, 2017). En Haute-Guinée, l'orpaillage se développe dans les années 1990 à la suite de l'échec de la culture de coton (Gerardeaux et Kourouma, 1998). Beaucoup de populations en milieu rural se tournent alors vers l'orpaillage comme alternative de revenu. En effet, en raison d'une politique de prix peu incitative et la rareté des pluies, le revenu des planteurs de coton a drastiquement diminué. Sur le plan économique, la hausse des prix des métaux sur le marché international a poussé de nombreux individus à se tourner vers cette activité, attirés par l'opportunité de réaliser des gains rapides (Bolay, 2016b). Cette situation a conduit à l'intensification de l'activité d'orpaillage dans des zones historiques.

Enfin d'autres facteurs comme les innovations technologiques ont conduit à l'ouverture de nouveaux sites d'exploitation en Afrique de l'Ouest, aussi bien dans des zones à longue historicité minière que dans des régions jusque-là peu concernées. Elle a également entraîné une mobilité accrue des migrants miniers, particulièrement parmi les jeunes, qui voient dans l'extraction de l'or une réponse à leurs difficultés économiques.

2.1.3. De la définition de l'exploitation minière artisanale et à petite échelle

On estime que l'exploitation artisanale représente entre 15 à 20 % de la production mondiale d'or (World Bank, 2020). Elle regroupe pourtant 90% des ouvriers du secteur ; soit plus de 15 millions de mineurs dans le monde qui dépendent de cette activité (Seccatore *et al.*, 2014).

L'intérêt pour l'EMAPE a considérablement évolué au fil du temps. Alors qu'à l'époque coloniale, il était limité ou réduit à une approche strictement économique, le développement progressif de ces activités a

suscité l'attention de nombreux acteurs – chercheurs, gouvernements, organisations internationales – en raison de ses effets, à la fois source d'opportunités économiques et génératrices d'impacts sociaux et environnementaux. La publication du rapport *« Small-Scale Mining in the Developing Countries »* en 1972 par les Nations Unies (ONU) a marqué un tournant dans l'intérêt porté à ce secteur (ONU, 1972). Dans ce contexte, plusieurs séminaires internationaux ont été organisés, parmi lesquels la Conférence internationale de Mexico en 1978, le séminaire sur les Stratégies pour l'exploitation minière à petite échelle et les industries minérales au Kenya en 1980, ainsi que l'Atelier international sur l'exploitation minière à petite échelle tenu à New Delhi en 1984. Ces rencontres avaient pour l'objectif principal de s'entendre sur une définition de l'EMAPE. Dans cette optique, l'ONU définit l'EMAPE comme toute unité minière dont la production annuelle de matériaux bruts n'excède pas 50 000 tonnes, seuil mesuré à l'entrée de la mine (ONU, 1972). Cette définition a toutefois suscité des critiques pour son caractère strictement technique, centré sur la productivité et ignorant les dynamiques sociales et économiques propres à l'EMAPE (Ankenbrand *et al.,* 2021). Ce n'est qu'à partir des années 1980, notamment avec les travaux de Richard Noetstaller (1987), que l'EMAPE a commencé à être étudiée en profondeur. Noetstaller s'est particulièrement distingué par ses analyses des spécificités de l'EMAPE et de son rôle potentiel dans le développement rural. Puis, dans les années 1990, d'autres chercheurs, comme Gavin Hilson, ont approfondi cette réflexion en mettant en lumière les dimensions socio-économiques et environnementales du secteur, plaidant pour des politiques fondées sur des données empiriques (Hilson, 2005). Cependant, peu de gouvernements, en particulier en Afrique de l'Ouest, semblent avoir pris la pleine mesure de ces enjeux. Les législations minières continuent, pour la plupart, à définir l'EMAPE selon des critères techniques, tels que le degré de technologie utilisée, la superficie des sites d'extraction, ainsi que la profondeur de l'exploitation. Dans certains pays, elle est en outre réservée aux seuls citoyens nationaux. En Guinée, selon le Code minier de 2011, amendé en 2013, l'EMAPE est définie comme « *toute exploitation dont les activités consistent à extraire et concentrer des substances minières et à récupérer les produits marchands par des méthodes et procédés manuels et traditionnels* ». Elle est limitée à une profondeur de 30 mètres pour l'exploitation en gradins et de 15 mètres pour l'exploitation par fouilles, et s'étend sur un maximum d'un

hectare pour le diamant, et d'un demi-hectare pour l'or (articles 56, 57 et 58). Cette définition est toutefois aujourd'hui dépassée, au regard des réalités observées sur le terrain, où se développent des pratiques mécanisées et semi-mécanisées.

Par ailleurs, la littérature scientifique tend à caractériser l'EMAPE par les acteurs impliqués, les pratiques spécifiques et le faible niveau de capital mobilisé, qui la distinguent de l'exploitation à grande échelle. Ainsi, il s'agirait d'activités à forte intensité de main-d'œuvre qui pourraient être entreprises de manière rentable par tout un chacun et qui aurait un potentiel unique de garantir les moyens de subsistance et réduire la pauvreté à grande échelle (Clausen *et al.,* 2011; Hilson, 2009a). L'EMAPE est souvent décrite comme une activité semi-légale ou clandestine (Shen et Gunson, 2006), opérant sous l'autorité de chefs coutumiers, des propriétaires terriens ou de négociants en minerais (Ferring *et al.*, 2016; Panella, 2007, 2005; Grätz, 2004).

Elle est également décrite comme un travail saisonnier (Bolay, 2016b; Dessertine, 2016; Luning *et al.*, 2014), principalement en saison sèche et caractérisée par l'utilisation d'outils manuels pour exploiter des gisements facilement accessibles à ciel ouvert, souterrains ou fluviaux (Diallo, 2017; Shen & Gunson, 2006; Hilson, 2002a). Ce travail varie en fonction du type de gisement. Pour l'extraction des minerais alluviaux, des méthodes telles que le dragage des sédiments au fond des rivières sont courantes, impliquant l'utilisation de pompes à gravier ou à jet. Les équipements vont des radeaux flottants munis de tambours en acier aux barges sophistiquées équipées de systèmes de tête de coupe mécanisés, capables de percer les couches de sédiments durs afin d'atteindre les graviers sous-jacents contenant le minerai. En revanche, pour les minerais altérés, l'or est extrait de puits peu profonds à l'aide d'outils simples, souvent de fabrication locale, tels que des pioches, burins, calebasses et pelles. Ces outils ne permettent pas aux petits exploitants d'exploiter les gisements primaires profonds plus riches. Les rendements sont donc faibles, et les revenus générés équivalents à ceux des activités de subsistance (Zongo, 2019). Cette situation empêche les petits exploitants de réinvestir dans leurs opérations et d'en améliorer les conditions, les maintenant ainsi dans un cercle vicieux de pauvreté (Zongo, 2019). Ce constat est partagé par la Banque mondiale, qui souligne que

l'EMAPE reste largement une activité de survie, pratiquée dans des zones rurales pauvres et reculées, par une population itinérante, peu éduquée, disposant de peu d'alternatives économiques (Banque Mondiale, 2005). Du fait de son expansion croissante, l'EMAPE fait ainsi l'objet d'un intérêt accru autant chez des chercheurs, que des organisations nationales et internationales depuis plusieurs décennies (Morante-Carballo *et al.,* 2022; Veiga, Maxson, *et al.,* 2006; Hilson, 2005). L'analyse transversale de ces travaux témoigne du fait que ni les autorités gouvernementales, ni les chercheurs ne parviennent à s'accorder sur à une caractérisation universellement acceptée. L'absence de consensus autour d'une définition unique et acceptée de l'EMAPE reflète à la fois la diversité des réalités de terrain et la multiplicité des cadres disciplinaires à travers lesquels cette activité est appréhendée. Selon que l'on adopte une perspective économique, juridique, géologique, environnementale ou socio-anthropologique, les contours de l'EMAPE – en termes de statuts, d'acteurs, de pratiques ou d'échelles – varient considérablement.

Dans le cadre de ce travail, l'EMAPE est abordée prioritairement à partir du secteur aurifère en Guinée, ce qui implique une approche volontairement située, ancrée dans les dynamiques locales observées. Plutôt que d'enfermer cette activité dans une définition rigide, nous choisissons d'en explorer les marges, les hybridations et les évolutions. Cette démarche permet de mieux comprendre la manière dont les acteurs – orpailleurs, autorités administratives, autorités coutumières – s'approprient, contournent ou redéfinissent en pratique les cadres juridiques et techniques. Plutôt que de figer une définition, il s'agit ici de comprendre comment elle se négocie, se déplace, et se matérialise dans les pratiques.

2.1.4. Trajectoires et transformations sociotechniques de l'orpaillage

Innovations techniques et mécanisation croissante de l'EMAPE

Le contexte géologique en Guinée comme ailleurs en Afrique de l'Ouest (Egal *et al.,* 2002) est favorable et permet l'exploitation de l'or, en particulier dans les roches vertes du domaine birrimien (Béziat *et al.,* 2008). L'EMAPE y est donc particulièrement répandue et connait depuis le début des années 2000 une intensification, avec notamment la découverte de nouveaux sites d'extraction. Ces sites, initialement basés

sur l'utilisation d'outils rudimentaires, sont progressivement devenus des lieux d'innovations technologiques. L'acquisition de ces technologies nécessite parfois des investissements importants en capital. À titre d'exemple, alors que l'exploitation autour d'un puits peut mobiliser seulement quelques dizaines à quelques centaines d'euros, l'achat d'un détecteur d'or peut coûter entre 2 000 et 7 000 euros. L'acquisition d'équipements plus lourds, tels qu'un camion-benne ou une pelle hydraulique, représente un investissement pouvant atteindre plusieurs dizaines de milliers d'euros. Cette transformation remet en question la perception largement répandue dans la littérature, décrivant l'EMAPE comme une activité caractérisée par un faible niveau de technologie et de faibles investissements en capital (Weng et Margules, 2022; Weldegiorgis *et al.,* 2021; Saldarriaga-Isaza *et al.,* 2013). Cette dynamique de transformation technologique n'est pas unique à l'Afrique de l'Ouest. En effet, des évolutions similaires ont été observées dans d'autres régions du monde, notamment aux Philippines (Verbrugge, 2014), en Indonésie (Verbrugge *et al.,* 2021; Libassi, 2020), au Pérou (Cortés-McPherson, 2019), en Colombie (Robles Mengoa et Urán, 2020), en RDC (Bikubanya et Radley, 2022; Kabunga et Geenen, 2022; Radley, 2022), au Cameroun (Weng et Margules, 2022), au Suriname (Seccatore et Theije, 2017). Ces transformations technologiques se traduisent par une modernisation progressive des outils et des méthodes employées dans L'EMAPE.

Dans les opérations d'extraction habituellement dominées par des techniques manuelles, on constate une utilisation accrue des marteaux-piqueurs dans le forage des puits. Parallèlement, les broyeurs sont devenus des outils essentiels dans le traitement du minerai (or contenu dans les veines de quartz) (Agyei, 2016). Ces outils permettent de réduire certains des coûts d'investissement auxquels sont confrontés les mineurs, y compris les dépenses liées à leur concassage manuel et permettent de maximiser les rendements de l'exploitation (Bikubanya et Radley, 2022). Par ailleurs, la cyanuration, un procédé chimique utilisé pour extraire l'or des résidus miniers, s'est largement diffusée comme méthode de traitement post-extraction dans plusieurs pays de la région. Autrefois réservée aux grandes entreprises minières, cette technique est devenue accessible aux orpailleurs grâce à des chaînes d'approvisionnement informelles. Dans des pays comme le Burkina Faso et le Niger, la cyanuration constitue désormais une étape essentielle du processus de

production de l'or artisanal, principalement appliquée aux résidus post-amalgamation au mercure (Afane & Gagnol, 2021; Lanzano & Arnaldi di Balme, 2021; A. Ouédraogo, 2020). L'introduction de cette méthode a transformé la chaîne de production minière, augmentant significativement les taux de récupération de l'or (Libassi, 2020; Verbrugge, 2014).

Bien que la mécanisation de l'EMAPE évolue à des rythmes différents selon les régions du monde, elle est partout imbriquée dans des dynamiques similaires. D'une part, ces évolutions technologiques s'inscrivent dans un contexte d'épuisement des gisements facilement accessibles rendant nécessaire d'améliorer les méthodes d'extraction (Verbrugge et Geenen, 2020). D'autre part, elles sont favorisées par les mouvements migratoires au sein et entre les pays. L'Afrique de l'Ouest en particulier, est une région caractérisée par une forte mobilité des populations, particulièrement dans le contexte de l'EMAPE où la migration des mineurs artisanaux a joué un rôle crucial dans les innovations techniques de l'orpaillage (voir par exemple Chevrillon-Guibert et Magrin, 2018; Lanzano et Arnaldi di Balme, 2017; Dessertine, 2016). En raison de la nature informelle, les travailleurs miniers se déplacent fréquemment à la recherche de nouvelles opportunités dans les régions aurifères. Lors de ces déplacements, des savoirs et savoir-faire sont partagés permettant ainsi la modernisation des techniques.



Figure 4 : *illustration de l'évolution technologique de l'orpaillage ; a) Pelle mécanique, b) camion, c) moulin, d) concasseur, e) marteau piqueur, f) détecteur de l'or.*

L'EMAPE et les flux migratoires

Dans un contexte de forte croissance démographique et de manque d'emploi en Afrique de l'Ouest (Delaunay et Guengant, 2019; Leridon, 2015), les zones minières artisanales apparaissent comme des espaces d'opportunités économiques pour les individus. Contrairement à l'extraction industrielle, régie par des permis légalisés et réservée aux sociétés autorisées et à des compétences formelles, l'EMAPE par sa nature informelle et nécessitant peu de compétences techniques attire une diversité de personnes, hommes et femmes, de diverses origines, y compris des enfants (Cossa *et al.*, 2022; Dube *et al.*, 2021). En Guinée, la participation des femmes y est particulièrement importante, représentant environ 50 % de la main-d'œuvre active (Veiga *et al.*, 2006). L'intensification de l'orpaillage entraîne ainsi un afflux de population vers les sites miniers. Ces zones d'extraction prennent généralement la forme de campements temporaires, susceptibles d'être déplacés en cas de nouvelle découverte ou à la suite d'opérations de déguerpissement (migration induite par l'expulsion voir par exemple Bolay, 2016a et Dessertine et Noûs, 2021). On y trouve des orpailleurs venus tenter leur chance, mais aussi des commerçants, des acheteurs d'or, des travailleuses du sexe, entre autres.

En Afrique de l'Ouest, ces migrations de travail impliquent des centaines de milliers de personnes et relient différentes échelles – locale, nationale et internationale. Historiquement, ces migrations étaient saisonnières, principalement en saison sèche de façon à alterner avec les activités agricoles en saison des pluies. Cependant, la mécanisation de l'orpaillage tend à transformer ces mobilités, en particulier l'usage de plus en plus fréquent des détecteurs de métaux. Ces nouveaux outils permettent un rythme de mobilité plus rapide et opportuniste, basé non plus sur les cycles saisonniers, mais sur les opportunités immédiates de trouver de l'or. Les mineurs, guidés par des réseaux de connaissance et la capacité de l'outil à signaler la présence de l'or, se déplacent constamment à la recherche des nouvelles zones propices, sans nécessairement s'installer. Ces allers-retours fréquents entre les sites miniers et le village tendent à reconfigurer les mobilités en les rendant plus masculines et itinérantes (Bolay, 2016b; Dessertine, 2016). Par ailleurs, les rôles des femmes dans l'EMAPE sont fortement influencés par les caractéristiques physiques du gisement, notamment le type de dépôt (alluvial ou veine souterraine) et l'épaisseur de la

couche de couverture, qui conditionnent l'accessibilité au minerai (Malpeli et Chirico, 2013). Lorsque l'extraction exige des travaux manuels lourds pour atteindre le minerai, les femmes se concentrent généralement sur les activités de traitement et de lavage, d'autant plus que les gains ne sont pas toujours réguliers.

Si la plupart des mineurs s'engagent dans l'EMAPE dans l'espoir de gagner rapidement de l'argent, l'irrégularité des revenus amène certains à rester impliqués pendant des années, voire des décennies. L'accumulation d'expérience leur permet alors d'accéder à des activités plus spécialisées et mieux rémunérées, comme *caleur de bois* ou *kaladjanti*[3] dans l'extraction du minerai dans les galeries souterraines. Pour ces orpailleurs « professionnels », l'extraction de l'or devient l'activité principale en termes de temps et de revenus. Leur mobilité se transforme également : au lieu de simples allers-retours entre leur village d'origine et les zones minières, certains choisissent de migrer durablement vers la zone minière et d'y établir leur résidence principale. D'autres adoptent une stratégie de double résidence, avec un logement à la fois dans les localités minières et dans leur village d'origine (Bolay, 2016b). En Guinée, cette diversité des trajectoires migratoires se traduit par une composition très hétérogène de la population minière impliquée dans l'EMAPE. Selon les estimations, environ 15 % des orpailleurs proviennent d'autres pays de la CEDEAO, 40 % sont des Guinéens venus d'autres régions du pays, et 45 % sont des autochtones des zones minières (MEEF, 2021).

Enfin, les mobilités autour des rampes mécanisées et les sites de cyanuration, semblent plus structurées par une hiérarchie. La migration entre les sites miniers et les villages d'origines est alors organisée par les patrons, qui financent le transport, l'hébergement et parfois l'équipement des mineurs recrutés, souvent avec l'aide d'intermédiaires basés dans le pays d'origine (Champy et Dessertine, 2024).

[3] Homme à la grande pioche

Imbrications sociales des changements technologiques

La mécanisation offre plusieurs avantages, principalement en termes de productivité en permettant une exploitation plus rapide et plus profonde. Elle permet le traitement de quantités considérables de minerai y compris de la roche dure beaucoup plus rapidement qu'auparavant. De plus, le recours croissant à la mécanisation valorise les ressources jusque-là considérées et traitées comme des résidus (Bikubanya & Radley, 2022; Lanzano & Arnaldi di Balme, 2021). En outre, l'usage des produits chimiques, tels le mercure et le cyanure augmente le taux de récupération de l'or. Ces améliorations, combinées à la hausse du prix de l'or, ont entraîné une augmentation significative des revenus de l'orpaillage. Ce surplus de revenus attise les intérêts de divers acteurs, déclenchant des revendications et des conflits pour le contrôle des ressources et des bénéfices.

Les innovations technologiques sont profondément enracinées dans la configuration et les modèles organisationnels des sites d'EMAPE. Par exemple, (Lanzano & Arnaldi di Balme, 2021) ont analysé la transition des techniques à base de mercure à celles à base de cyanure dans le secteur minier artisanal au Burkina Faso, ce qui a révélé une relation entre les trajectoires sociotechniques et les luttes de pouvoir en cours. Ces auteurs dans leur analyse, ont exploré la dynamique sociale autour de la propriété des résidus miniers, qui bien qu'autrefois considérés comme de faible valeur, sont devenus plus précieux grâce aux nouvelles techniques de traitement. Cette nouvelle configuration a pu déclencher des luttes de pouvoir entre les acteurs coutumiers et les nouveaux venus, notamment entrepreneurs, dépossédant les acteurs qui avaient bénéficié des modes de production précédents (Bikubanya & Radley, 2022; Lanzano & Arnaldi di Balme, 2021). Les innovations technologiques redistribuent ainsi le pouvoir au sein des communautés minières, en renforçant les positions de certains acteurs, généralement ceux ayant un meilleur accès au capital.

En Guinée, les innovations apportées par les mineurs migrants burkinabés ont reconfiguré les rôles de gouvernance des institutions villageoises et en particulier du *tomboloma*. Le nouveau système sociotechnique introduit une organisation du travail plus complexe, exigeant des investissements plus

conséquents que l'ancien système sociotechnique du *bé*[4], ainsi que des connaissances plus spécialisées. Ces transformations dans l'organisation du travail et des modes de production ont redéfini les rôles de gouvernance des institutions villageoises, comme nous le verrons en chapitre 3.

2.2. Etat des connaissances sur les impacts socioéconomiques, environnementaux et sanitaires de l'EMAPE

2.2.1. Controverses autour de l'importance économique et sociale d'EMAPE

L'EMAPE au service du développement économique des pays extracteurs ?

L'EMAPE a un impact significatif sur l'économie nationale de plusieurs pays en développement, que ce soit en Afrique, en Asie ou en Amérique latine. Elle a le potentiel de contribuer aux exportations nationales de minéraux et aux devises étrangères du pays si le secteur est correctement légalisé. Dans la plupart des pays de l'Afrique de l'Ouest, la part de l'EMAPE dans la production locale est très importante. En Guinée, elle représente 74 % des exportations d'or national (MMG, 2024), alors qu'au Ghana, c'est de plus de 30 % (Hilson & Maconachie, 2020b). Cela représente une valeur ajoutée estimée à plusieurs centaines de milliers de dollars pour ces pays, à travers les taxes d'exportation (Brugger & Zanetti, 2020). Par ailleurs, les taxes sur la balance sont régulièrement appliquées sur les mineurs artisanaux. Toutefois, en raison du degré élevé d'informalité, ces taxes ne sont que partiellement recouvrées. Conscient de ces enjeux, de nombreux gouvernements s'efforcent d'optimiser les bénéfices de l'EMAPE. Dans certains contextes de crise économique, l'EMAPE est même perçue comme une priorité stratégique pour soutenir l'économie nationale. Par exemple, (Chevrillon-Guibert, 2016) montre comment la baisse des revenus pétroliers après l'indépendance du Soudan du Sud en 2011 a poussé le gouvernement soudanais à encourager l'orpaillage artisanal, qui est rapidement devenu le principal produit d'exportation du pays.

[4] Mode d'organisation historique du travail minier aurifère en Haute-Guinée, fondé sur des pratiques artisanales et une gouvernance coutumière à l'échelle villageoise, sur un espace délimité. Nous y reviendrons plus en détail dans la suite de ce travail.

Cependant, l'EMAPE contribue dans des contextes d'instabilité politique, à des processus de militarisation et de milicianisation en finançant des groupes armés, comme dans l'ouest de la Centrafrique (Wouloungou, 2018), au Sud-Kivu en République démocratique du Congo (Geenen, 2014), dans les zones de conflit au Darfour et dans le sud de la Libye (Chevrillon-Guibert *et al.,* 2019), ainsi que dans la région sahélo-saharienne, incluant le Niger, le Burkina Faso, le Mali et le Tchad (Raineri, 2020).

L'implication des groupes armés peut être directe ou indirecte, oscillant entre coopération et concurrence. Dans certains cas, ils prennent physiquement le contrôle des sites miniers, installent des points de contrôle informels le long des routes empruntées par les orpailleurs ou interviennent dans le circuit de commercialisation de l'or pour en tirer des profits (Raineri, 2020; OCDE, 2018). Ces groupes armés peuvent, dans d'autres cas, imposer des prélèvements en échange de la protection qu'ils offrent aux mineurs artisanaux, ce qui rend leurs implications parfois acceptables, voire nécessaires, aux yeux des populations minières. Cependant, leur implication peut être beaucoup plus complexe, instrumentalisant les conflits locaux, exploitant les rivalités entre l'État central, les autorités coutumières et d'autres pouvoirs locaux (Dessertine *et al.,* 2022). Selon les intérêts en jeu, ils peuvent s'allier soit à l'État, soit aux autorités traditionnelles, ou maintenir une position intermédiaire, tirant parti des tensions pour consolider leur influence (Raineri, 2020). Leur positionnement flexible leur permet parfois de servir d'intermédiaires ou, dans d'autres cas, de s'opposer activement aux autorités locales et nationales pour affirmer leur propre contrôle sur les ressources minières.

Au-delà des enjeux économiques, les taxes constituent surtout dans ce cas comme un moyen pour ces Etats d'affirmer leur influence dans ces zones.

L'EMAPE et réduction de la pauvreté, des liens complexes

L'EMAPE joue un rôle essentiel dans la réduction de la pauvreté pour des millions de personnes, en particulier dans les zones rurales et reculées où les opportunités économiques sont limitées (Hilson, 2009a). Ce secteur constitue une source majeure de revenus pour les mineurs, ainsi que pour les personnes impliquées dans des activités connexes telles que le commerce ou les services. Contrairement à

l'exploitation minière industrielle qui exige des compétences techniques spécifiques, l'EMAPE est ouverte à un éventail de travailleurs aux compétences et aux formations diverses, y compris les femmes (Hilson, 2002 ; Werthmann, 2009 ; Zolnikov, 2020). Ainsi, on estime qu'environ 10 à 15 millions de personnes dans le monde sont directement employées par l'EMAPE, tandis que plus de 100 millions dépendent indirectement de cette activité pour leur subsistance (Basu *et al.,* 2015; Rajaee *et al.,* 2015; Jennings, 1999). Grâce aux revenus tirés de cette activité, certains chefs de ménage ont pu subvenir aux besoins fondamentaux des leurs familles tels que l'éducation, le logement, les moyens de transport et les soins de santé (Sissoko, 2019; Bansah *et al.,* 2018; Canavesio, 2014). En plus de répondre aux besoins essentiels, de nombreux autres mineurs et résidents des zones minières ont investi de manière stratégique dans l'immobilier, cherchant ainsi à générer des revenus supplémentaires et assurer leur sécurité financière (Jønsson & Bryceson, 2017).

Par ailleurs, les ressources financières issues des taxes informelles sont régulièrement réinjectées par les autorités coutumières au sein des villages sous la forme de projets collectifs. La construction d'écoles et d'infrastructures locales, par exemple, permet d'améliorer les services publics dans des zones souvent négligées par les autorités centrales (Sissoko, 2019). Les populations vivant à proximité des sites miniers profitent également de nouvelles opportunités économiques, en développant des activités commerciales telles que la vente de produits alimentaires, vestimentaires ou électroniques (Okoh & Hilson, 2011; Maconachie & Binns, 2007; Kitula, 2006). Bazillier et Girard (2020) ont examiné les impacts socio-économiques des différentes formes d'exploitation de l'or au Burkina Faso, en mettant en lumière leurs conséquences sur le bien-être des communautés locales environnant des sites d'extraction, la répartition des richesses et les inégalités. Ces auteurs ont conclu que l'EMAPE favorise une redistribution de revenu plus importante au niveau des populations environnantes par rapport àl'exploitation industrielle. En effet, l'orpaillage permet une diffusion plus large des revenus au sein des communautés locales, alors que l'exploitation industrielle tend à concentrer les revenus dans les mains de quelques acteurs.

Ainsi, l'EMAPE est une source de subsistance pour des millions de personnes et de leur famille, en particulier dans les régions rurales où les opportunités économiques sont limitées. Cependant, cette activité est souvent marquée par des tensions et des conflits. D'une part, elle crée des emplois et des opportunités économiques pour les populations locales ; d'autre part, elle est aussi à l'origine de conflits liés à l'utilisation des ressources et de tensions sociales (Chari *et al.,* 2021; Mkodzongi, 2020; Cros & Mégret, 2018; Salman *et al.,* 2018). Par ailleurs, l'EMAPE peut rendre les communautés plus vulnérables lorsque celles-ci sont trop dépendantes de l'exploitation minière notamment dans des contextes de fluctuations des prix ou d'épuisement des ressources locales. Cette dépendance rend la gestion des impacts particulièrement délicate, car les interventions environnementales doivent aussi tenir compte des conséquences socio-économiques, sans risquer d'aggraver les conditions de vie des populations locales.

Au Ghana par exemple (Adranyi *et al.,* 2023), l'émergence de l'EMAPE a eu un impact sur les trajectoires des moyens de subsistance des populations rurales initialement dominées par l'agriculture de subsistance. A court terme, elle a offert des opportunités économiques cruciales à certains ménages qui ont amélioré leur trajectoire de subsistance et résistent aux fluctuations. D'un autre côté, elle a engendré des problèmes environnementaux qui compromettent à long terme les ménages dont les moyens de subsistance sont liés à l'agriculture, de sorte qu'un plus grand nombre de ruraux se retrouvent enfermés dans la pauvreté. Cette pérennisation à long terme de la pauvreté est renforcée par le manque de culture de l'épargne et la fragilité administrative des orpailleurs illégaux (Adranyi *et al.,* 2023). Enfin, l'EMAPE est limitée dans sa capacité à réduire durablement la pauvreté, malgré son potentiel élevé en termes d'emplois et de génération de revenus. Cette limitation est due à la position marginale qu'occupe ce secteur dans les programmes de développement nationaux et internationaux (Hilson et McQuilken, 2014). En effet, l'EMAPE n'est pas suffisamment priorisée dans les stratégies de développement économique, ce qui peut freiner son efficacité à long terme. L'informalité fait que les mineurs artisanaux manquent souvent d'accès au crédit pourtant essentiel pour assurer le développement de leurs activités. En plus de ces difficultés économiques, ils sont également victimes de violations de leurs droits humains, telles que des conditions de travail dangereuses,

des abus de la part des autorités locales ou d'autres acteurs, et un manque de protection sociale (Spiegel, 2014; Hilson *et al.,* 2013; Hilson & Pardie, 2006).

Pour que l'EMAPE puisse jouer pleinement son rôle à long terme, les études suggèrent qu'il est nécessaire de faciliter son accès (Gamu *et al.*, 2015). Cela requiert une action coordonnée entre les gouvernements des pays producteurs et les organisations de développement (Hilson & McQuilken, 2014). Cette action pourrait comprendre des réformes politiques et des initiatives visant à surmonter les obstacles auxquels les mineurs artisanaux sont confrontés. Cependant, dans ces tensions complexes entre orpaillage et réduction de la pauvreté, certains chercheurs tendent à penser aujourd'hui que la facilitation de l'accès au secteur de l'EMAPE ne doit pas nécessairement passer par une formalisation stricte. En effet, bien que la formalisation soit souvent perçue comme une solution pour intégrer le secteur dans l'économie formelle, elle peut parfois devenir un obstacle pour les plus pauvres (Gamu *et al.*, 2015). Les processus de formalisation peuvent nécessiter des documents ou des ressources financières que les mineurs artisanaux ne possèdent pas et, par conséquent, risquent de les exclure du secteur (Maconachie & Hilson, 2011). De plus, la formalisation peut renforcer les structures de pouvoir et d'inégalité déjà présentes au sein des communautés minières, en favorisant les élites locales ou ceux qui ont plus de capital, au détriment des mineurs les plus vulnérables (Maconachie & Hilson, 2011; Fisher, 2007).

En définitive, s'il y a un lien fort entre EMAPE et pauvreté, il reste complexe et fluctuant : la pauvreté entraîne le développement de l'EMAPE, l'EMAPE réduit à court terme la pauvreté mais déstabilise sur le moyen terme des structures socioéconomiques questionnant l'avenir de certains territoires ruraux notamment.

Tensions entre EMAPE et agriculture dans les territoires ruraux

Dans les zones rurales, notamment d'Afrique subsaharienne, l'EMAPE et l'agriculture entretiennent des relations complexes. Historiquement, à Siguiri, comme ailleurs en Afrique de l'Ouest, l'extraction de l'or a toujours été complémentaire à l'agriculture et a été pratiquée par des individus élevés dans un contexte

agricole. L'EMAPE a donc été, pour la plupart de ces gens, une activité saisonnière qui se déroule principalement durant la saison sèche, tandis que la saison des pluies était dédiée aux récoltes (Luning *et al.,* 2014). Une bonne récolte permettait à ces personnes de subvenir aux besoins de leurs familles jusqu'à la prochaine saison.

Cependant, face à des conditions défavorables, telles que la sécheresse, ou la faible productivité des sols, de nombreux agriculteurs ont dû se tourner vers des activités complémentaires, en particulier l'EMAPE, pour subvenir à leurs besoins (Girard *et al.,* 2022; Zongo, 2019; Luning *et al.,* 2014; Hilson, 2005). Cette complémentarité permet à de nombreuses familles de sécuriser ou d'accroître leurs revenus (Persaud *et al.,* 2017; Hilson, 2016) tandis qu'une majorité d'entre eux s'oriente progressivement vers des trajectoires centrées sur l'exploitation minière. Pour ces derniers, les revenus miniers servent alors de soutien financier pour l'agriculture (Bolay, 2016b; Maconachie, 2011). (Brugger & Zanetti, 2020) ont analysé les multiples interactions entre l'agriculture et l'EMAPE au niveau des ménages au Burkina Faso, identifiant quatre modèles distincts selon lesquels les mineurs d'or informels combinent l'agriculture et l'exploitation minière. Les surplus agricoles peuvent financer la recherche de l'or, comme les réussites orpailleuses contribuent à l'investissement au sein des exploitations agricoles à travers l'achat d'intrants (produits phytosanitaires, engrais) (Ouedraogo, 2019).

Si de nombreuses familles combinent EMAPE et agriculture, transférant main d'œuvre et finance d'une activité à l'autre (Huntington & Marple-Cantrell, 2022; Lahiri-Dutt, 2018; R. Pijpers, 2014; Hilson & Garforth, 2013; Maconachie & Binns, 2007), cette complémentarité est de plus en plus remise en cause par les effets socio-environnementaux de l'EMAPE (Ofosu *et al.,* 2020; Ouedraogo, 2019; Bamba *et al.,* 2013). L'expansion des sites miniers, souvent non régulée, a dégradé les terres cultivables et provoqué une perte significative de la couverture végétale, mettant en péril l'agriculture de subsistance dans les territoires extractifs (Ofosu *et al.,* 2020). De plus, l'utilisation de produits chimiques dans le traitement du minerai, comme le mercure et le cyanure, crée une pollution des sols, menaçant non seulement les cultures mais

aussi la santé des populations locales et du bétail. (Bamba *et al.,* 2013) ont notamment documenté cette pollution au Burkina Faso, où les terres agricoles aménagées ont été gravement atteintes.

Alors que la situation au Niger suggère aussi que l'exploitation artisanale entrave l'agriculture (Oumar, 2021), d'autres perspectives offrent une vision plus optimiste sur les activités en Afrique subsaharienne (Hilson, 2016). Cet auteur affirme qu'à la lumière de la symbiose croissante entre les deux, elles ne devraient plus être considérées comme des activités concurrentes (ou en opposition) dans les zones rurales.

2.2.2. Impacts environnementaux et sociaux de l'EMAPE

Dans cette partie, nous décrivons les impacts de l'EMAPE tels la dégradation des sols, la pollution, la déforestation et les risques pour la santé humaine. Nous avons fait le choix de ne pas distinguer systématiquement l'EMAPE légale de l'illégale, car cette opposition ne constitue pas un cadre d'analyse central. Ce positionnement repose sur le constat que le statut juridique de l'activité n'est pas, en soi, un indicateur fiable des impacts environnementaux ou sociaux qu'elle génère. Comme nous le verrons plus loin, la formalisation ne garantit ni la durabilité environnementale, ni le respect des droits humains ; elle peut même, dans certains cas, accentuer les impacts environnementaux (voire par exemple Adam *et al.,* 2021; Ankenbrand *et al.*, 2021; Kinyondo & Huggins, 2021; Swenson *et al.*, 2011).

EMAPE et dégradation de l'environnement

Au cours des dernières décennies, l'exploitation aurifère, et plus particulièrement l'EMAPE, a connu une expansion significative à l'échelle mondiale. Entre 1990 et 2023, la contribution de l'EMAPE à la production mondiale d'or est passée de 10 à 70 tonnes, représentant désormais près de 20 % de la production totale (World Bank, 2020). Cette expansion a engendré des impacts environnementaux directs et indirects, touchant diverses composantes des écosystèmes.

De nombreuses études ont mis en lumière les impacts environnementaux de l'EMAPE, tant en Afrique qu'à l'échelle mondiale, notamment le déboisement, la déforestation, la pollution des sols et de l'air, ainsi que la perte de biodiversité (Ayiwouo *et al.,* 2023; Ngom *et al.,* 2023; Achina-Obeng & Aram, 2022; Barenblitt

et al., 2021; Coulıbaly *et al.,* 2021; Nyamekye *et al.,* 2021; Forkuor *et al.,* 2020; Macháček, 2020; Abaidoo *et al.,* 2019; Macháček, 2019; Mkodzongi & Spiegel, 2019; Owusu *et al.,* 2019; Bansah *et al.,* 2018; Lehmann *et al.,* 2017; Bamba *et al.,* 2013). La déforestation et la dégradation de la couverture végétale constituent souvent la première étape dans la transformation de l'environnement naturel induite par l'exploitation minière, notamment en Afrique (Girard *et al.,* 2022). Elle a lieu directement au début de l'exploitation minière, où la déforestation est effectuée par le retrait de la couverture végétale, nécessaire pour accéder aux gisements, et l'enlèvement des sédiments superficiels. Les zones forestières protégées et les sites à haute valeur de conservation peuvent également faire l'objet d'exploitation, ce qui engendre perte de forêts et réduction de la biodiversité (Barenblitt *et al.,* 2021; Macháček, 2019). De plus, la coupe excessive de bois, utilisée pour soutenir les puits et construire des habitations, accentue encore la destruction du couvert végétal autour des sites miniers. L'EMAPE contribue enfin à la déforestation, de manière indirecte, en raison de la coupe de bois destinée à la construction et aux usages domestiques. En effet, avec la croissance démographique autour des zones minières, attirée par l'exploitation aurifère, la demande en bois et en charbon de bois augmente, entraînant ainsi une pression accrue sur les ressources forestières et, par conséquent, une déforestation (Macháček, 2020). La situation africaine ne fait pas exception. En Amazonie également, l'EMAPE est un facteur majeur de déforestation (Asner *et al.,* 2013; Swenson *et al.,* 2011). Selon ces auteurs, la déforestation de la forêt amazonienne liée à l'EMAPE a atteint des niveaux alarmants, avec près de six mille hectares de forêt tropicale primaire convertie en zones minières, marquant ainsi une transformation des paysages naturels. Ainsi partout dans le monde, les paysages dégradés laissés par l'exploitation minière artisanale sont souvent caractérisés par des amas instables de sol et de roches, des fosses abandonnées, et de vastes étendues de terres stériles, résultant de l'enlèvement excessif de la végétation et de la perturbation des sols. Ces sols dénudés sont particulièrement vulnérables à l'érosion et à une dégradation accélérée (Bamba *et al.,* 2013). L'EMAPE n'affecte pas uniquement les zones directement exploitées, les risques d'érosion concernent non seulement les sites miniers, mais aussi les zones environnantes. Car, la perte de végétation réduit la capacité des sols à retenir l'eau et à prévenir le ruissellement, ce qui contribue à une dégradation paysagère à plus grande échelle et à la diffusion des

polluants. De plus, lorsque ces fosses se remplissent d'eau stagnante, elles deviennent des zones de reproduction pour les moustiques, augmentant ainsi le risque de maladies telles que le paludisme dans les zones environnantes.

EMAPE et pollution environnementale

Fortement motivée par la pauvreté, l'EMAPE est généralement entreprise par des travailleurs qui ont une compréhension limitée des impacts à long terme de leurs activités sur l'environnement et sur leur santé, et qui ont une capacité limitée à atténuer les risques (Spiegel, 2009). L'EMAPE entraîne en particulier la contamination des rivières et des nappes phréatiques par des solides en suspension, des métaux lourds, du mercure notamment, ainsi que des huiles et graisses. Le lavage du minerai directement dans les cours d'eau provoque une hausse de la turbidité, libère des métaux toxiques comme le plomb et le chrome, et représente un risque majeur pour la santé humaine, notamment à travers la consommation d'eau contaminée ou de poissons vivant dans ces eaux (Adewumi & Laniyan, 2020).

Le mercure est particulièrement préoccupant en raison de ses effets bioaccumulatifs dans les sols, l'eau, les plantes et les animaux (Goix *et al.*, 2019; Beckers & Rinklebe, 2017; Drace *et al.*, 2012; Appoh *et al.*, 2011). Dans le monde entier, les mineurs artisanaux d'or sont les principaux consommateurs de mercure, utilisant et perdant près de 1000 tonnes de mercure métallique par an, soit plus de 30 % de tout le mercure utilisé annuellement par différentes applications industrielles (Cordy *et al.*, 2011). Le mercure est rejeté dans l'environnement de diverses manières lors de l'exploitation artisanale de l'or. Lorsqu'il est utilisé pour amalgamer l'or, une partie s'échappe directement dans les masses d'eau sous forme de gouttelettes de mercure élémentaire ou de couches de mercure absorbées sur les grains de sédiments (Cobbina *et al.*, 2015). De même, le mercure présent naturellement dans les sols et les sédiments érodés par le lavage et le dragage est remobilisé et biodisponible dans les eaux réceptrices (Diringer et al., 2020, 2015). Ce métal s'introduit dans la chaîne alimentaire, principalement à travers la contamination des poissons (Arifin *et al.*, 2015; Maurice-Bourgoin *et al.*, 2000). L'accumulation de mercure en zone minière notamment d'orpaillage se fait par voie atmosphérique sur les feuilles de la végétation. En Amazonie péruvienne, des études ont

démontré des concentrations élevées de mercure dans le feuillage de la forêt située à proximité des sites d'orpaillage (Gerson *et al.,* 2022). Des niveaux élevés de mercure et d'autres métaux lourds ont également été trouvés dans les sources d'eau potable des populations locales (Marrugo-Madrid *et al.,* 2022; Cobbina *et al.,* 2015). En plus du mercure, le cyanure utilisé pour l'extraction de l'or dans certaines régions est souvent transporté par les eaux de ruissellement, contaminant les cours d'eau et menaçant les écosystèmes aquatiques (Telmer & Veiga, 2008). Des sites d'EMAPE au Niger sont contaminés, en raison de l'utilisation de produits chimiques toxiques tels que le mercure, le cyanure et les acides sulfurique et nitrique, qui caractérisent le traitement et l'extraction de l'or (Dan-Badjo *et al.*, 2014). Les éleveurs, confrontés à la perte de leur bétail à cause de la contamination, ont dû changer leurs campements et ajuster leurs pratiques pour éviter les zones affectées par les déchets miniers.

L'exploitation aurifère informelle a de graves conséquences environnementales, notamment en raison de la mauvaise gestion des produits chimiques comme le cyanure et des déchets plastiques. L'absence de respect des régulations locales, combinée à la pollution des sols et des eaux, a perturbé les pratiques pastorales des communautés locales (Afane et Gagnol, 2021). Ces pollutions, combinées à la modification des paysages causée par l'EMAPE, pose un défi majeur à la durabilité environnementale et sanitaire dans les zones concernées.

EMAPE et santé humaine

Le mercure est couramment utilisé dans l'amalgamation de l'or en raison de son faible coût et de son efficacité dans le processus de récupération après broyage du minerai. Cependant, des métaux tels que l'arsenic, le plomb et le mercure sont extrêmement toxiques, même à faible concentration, et peuvent s'accumuler dans des organes vitaux comme le cerveau, les reins, le foie et les os, présentant un risque grave pour la santé humaine (Lanocha-Arendarczyk *et al.,* 2016; Zioła-Frankowska *et al.,* 2015; Jaishankar *et al.,* 2014; Tchounwou *et al.,* 2012). Il a été démontré que la consommation de plantes contaminées par ces métaux peut entraîner des dommages cliniques chez les animaux et les humains (Chibuike & Obiora, 2014).

Les effets sur la santé humaine sont bien documentés, notamment des troubles neurologiques (tremblements, paralysies), des lésions rénales et pulmonaires, ainsi que des troubles respiratoires (Hilson & Pardie, 2006). Des études ont également montré l'accumulation de mercure dans les écosystèmes, avec des conséquences graves, notamment des dégénérescences neurologiques et rénales (Tschakert & Singha, 2007). Les mineurs exposés de manière prolongée aux vapeurs de mercure développent des symptômes tels que l'ataxie, des tremblements et des troubles de la coordination (Paruchuri *et al.,* 2010).

Des recherches ont révélé que les sites miniers contribuent à la contamination de l'eau potable et des sols, avec des concentrations élevées d'arsenic, de mercure et de cyanure, ainsi qu'à la turbidité des rivières (Illatou, 2021; Tankari Dan-Badjo et al., 2019; Zakari et al., 2018; Lovasoa et al., 2017). Des études épidémiologiques menées au Burkina Faso ont observé des pathologies liées à la consommation d'eau contaminée par ces métaux, ainsi que des maladies respiratoires (Bretzler *et al.,* 2017; Somé *et al.,* 2012). L'inhalation de mercure engendre des problèmes rénaux, neurologiques et pulmonaires (Maiga *et al.,* 2022; Black *et al.,* 2017; Bose-O'Reilly *et al.,* 2017; O. Ouédraogo & Amyot, 2013), et l'exposition au cyanure présente également des risques pour la santé (Mallongi *et al.,* 2020; Razanamahandry *et al.,* 2020).

Une imbrication spatiotemporelle complexe

La majorité des études portant sur l'impact de cette activité se concentre sur des effets localisés, mais il est important de noter que certains de ces impacts peuvent s'étendre bien au-delà des zones d'exploitation minière (Adler Miserendino *et al.,* 2013). À l'échelle locale, les conséquences sont souvent très visibles, comme la dégradation du paysage ou la pollution des cours d'eau par une sédimentation excessive. Cependant, à l'échelle régionale, ces effets se cumulent, entraînant des changements plus vastes dans les écosystèmes. La complexité spatiale des impacts rend difficile l'identification précise des causes des problèmes environnementaux ou sociaux dans une région donnée. Les effets de l'EMAPE se mêlent souvent à ceux d'autres activités humaines (B. Turner *et al.,* 2007) et les impacts peuvent être dispersés à la fois dans le temps et dans l'espace, ce qui complique considérablement l'évaluation et la mise en place de réponses appropriées (Adler Miserendino *et al.,* 2013).

En outre, les impacts de l'EMAPE ne se manifestent pas tous dans la même temporalité. Certains effets, comme la déforestation et la pollution de l'eau, se manifestent immédiatement, tandis que d'autres, tels que les effets sur la santé, ne deviennent évidents qu'après plusieurs années, voire des décennies. Cette dimension cumulative des effets rend la gestion des impacts particulièrement complexe, car il est nécessaire de prendre en compte à la fois les effets actuels et ceux qui se manifesteront à l'avenir.

2.3. Un verrou pour la recherche et sur le terrain : comprendre et transformer les pratiques de l'EMAPE

2.3.1. Essais-erreurs de la formalisation du secteur de l'EMAPE

L'EMAPE, bien qu'elle génère des revenus vitaux pour des millions de personnes, contribue aussi à la déforestation, à la pollution des eaux et des sols. Par ailleurs, l'usage qu'elle nécessite de produits chimiques pose également des défis de santé publique. En réponse à ces défis, plusieurs gouvernements africains et organisations internationales ont lancé des initiatives en vue d'une gestion durable de ces activités. Ces initiatives passent notamment par la « formalisation » ou la « modernisation » dont on viendra à questionner l'efficacité sur le terrain. L'objectif est de mettre en place des réglementations qui protègent l'environnement, tout en contribuant au développement économique de l'État.

La « formalisation » peut être définie comme le processus d'intégration des activités informelles de l'EMAPE dans un cadre juridique ou réglementaire de l'État (Geenen, 2012). Elle implique l'établissement de droits de propriété et de zonage pour les mineurs artisanaux, souvent par l'octroi de titres miniers légaux (Alvarez-Berríos *et al.*, 2021; Huggins, 2016; Spiegel, 2015) ou « la codification des droits de propriété, d'accès ou de commercialisation » des ressources d'EMAPE au sein d'un cadre juridique ou réglementaire reconnu par l'État (Putzel *et al.*, 2015).

Ces ambitions de formalisation, souvent portées par les institutions internationales pour instaurer des normes sociales et environnementales, se traduisent concrètement par la mise en place des dispositifs étatiques et transnationaux de gouvernance. Il convient donc d'examiner comment ces cadres se sont

construits, d'abord à l'échelle internationale, puis au sein des politiques régionales et nationales, en Afrique de l'Ouest en particulier, afin de mieux comprendre les logiques sous-jacentes aux réformes de l'EMAPE.

Les cadres pour réglementer l'orpaillage à l'échelle internationale et en Afrique de l'Ouest en particulier

À la fin des années 1980, les pays africains ont commencé à mettre en œuvre des réformes du secteur minier, sous les auspices des institutions financières internationales, parallèlement à des programmes d'ajustement structurel plus vastes (Jønsson et Fold, 2011 ; Campbell et Laforce, 2010). Pour la Banque mondiale, l'objectif principal de ces réformes était de faciliter l'expansion des activités minières à grande échelle, financées par le secteur privé et jugées socialement et écologiquement « acceptables » (Campbell & Laforce, 2010). En 1992, une étude portant spécifiquement sur l'exploitation artisanale de l'or a été réalisée dans les pays au Mali, au Niger et au Burkina Faso dans le but d'harmoniser les réglementations (Keita, 2001). Depuis la réalisation de cette étude, la législation mise en place pour l'exploitation artisanale de l'or dans la région a été conçue autour de l'hypothèse selon laquelle en Afrique subsaharienne, « l'exploitation minière informelle est une activité motivée par la pauvreté » (J. B. Jønsson & Fold, 2011; Hilson, 2009a; Luning, 2006). Plusieurs programmes régionaux ont été mis en œuvre, par le Département des affaires économiques et sociales des Nations unies, pour répondre à cet objectif. C'est notamment le cas du projet « RAF/99/023 : Poverty Eradication and Sustainable Livelihoods Development in Artisanal Mining Communities » qui visait à mener des enquêtes communautaires participatives, avec des études de cas et un rapport analytique dans quatre pays africains (Ghana, Mali, Éthiopie et Guinée) (Carnegie *et al.*, 2000). Cependant, de nombreux projets d'assistance n'ont pas d'objectifs clairement identifiés. Certains projets et programmes, principalement financés par la Banque mondiale, se sont concentrés sur le développement du potentiel minier des sites d'extraction de l'or en finançant des ateliers de formation pour les petits exploitants miniers afin de renforcer leurs capacités en matière de structuration de coopératives et de procédures d'obtention de permis légaux, ainsi que sur la modernisation du secteur minier artisanal afin de le rendre économiquement viable. Dans cette continuité, en 2009, l'Union Africaine, avec le soutien de la Commission économique des Nations unies pour l'Afrique, a élaboré la Vision Minière Africaine (VMA). La VMA appelle ses états membres à un secteur extractif durable basé sur la protection de l'environnement

et une croissance socio-économique. En 2017, le Centre Africain pour le Développement des Minéraux a développé six (6) piliers devant faciliter la mise en œuvre de la VMA. Le pilier 5 est spécifiquement consacré à l'exploitation minière artisanale et à petite échelle. Concernant l'EMAPE, la VMA invite les États africains à « valoriser le potentiel de l'exploitation minière à petite échelle pour améliorer les moyens de subsistance et l'intégrer dans l'économie rurale et nationale ». De ce fait, la VMA appelle à la nécessité de formaliser l'EMAPE en l'intégrant à l'économie nationale à travers la mise en place de cadres juridiques.

Par ailleurs, plusieurs initiatives internationales se sont également concentrées sur les défis environnementaux et sociaux de l'exploitation artisanale, comme la Convention de Minamata (Bank, 2020). La Convention de Minamata est une convention internationale qui vise à protéger la santé humaine et l'environnement des effets néfastes du mercure, présent naturellement dans l'environnement et couramment utilisé dans de nombreuses activités, y compris l'EMAPE. La Convention inclut donc, un volet spécifique pour l'EMAPE, en raison de l'usage intensif du mercure dans ce secteur, qui engendre des impacts environnementaux et sanitaires significatifs. Adoptée en 2013, elle prévoit dans ses dispositions, l'interdiction d'ouvrir des nouvelles mines qui utilisent le mercure et l'abandon progressif des mines existantes, et propose des mesures pour éliminer progressivement l'utilisation du mercure. Pour le secteur de l'EMAPE par exemple, elle impose aux pays où cette activité est répandue d'élaborer un Plan d'Action National (PAN) qui vise à réduire, voire éliminer l'utilisation du mercure, à encadrer les activités minières informelles et à promouvoir des alternatives technologiques plus propres et durables. Entrée en vigueur en 2017, la Convention compte aujourd'hui 151 pays parties prenantes, dont 128 signataires, y compris la Guinée.

Cependant, plusieurs pays peinent à faire avancer l'application de la Convention et la mise en œuvre des PAN. Dans une étude récente, Stylo *et al.* (2020) ont mis en lumière plusieurs défis spécifiques à l'élaboration des PAN, nécessaires pour atteindre les objectifs de la Convention de Minamata. Ces difficultés incluent des obstacles techniques et institutionnels qui compromettent l'efficacité des stratégies visant à réduire l'usage du mercure dans les exploitations minières artisanales.

Au niveau national, de nombreux pays ont adopté des cadres législatifs et des politiques alignés sur ces initiatives politiques internationales pour réguler l'orpaillage. Les principaux efforts comprennent la révision des codes miniers qui ont permis d'inclure des dispositions spécifiques sur l'orpaillage, notamment la délivrance de permis et la définition des conditions d'exploitation. Ces conditions incluent les niveaux d'investissement en capital, le niveau de technologie, la superficie minière, ainsi que la taille et la profondeur de l'exploitation minière et les personnes autorisées. En Guinée, le code minier de 2011, amendé en 2013 pour impulser le secteur minier traite l'EMAPE qui est réservé aux nationaux et aux ressortissants des pays accordant la même réciprocité aux guinéens. Par ailleurs, plusieurs autres programmes ont été lancés avec les mêmes objectifs incluant notamment la restauration des anciens sites miniers en espaces agricoles, la promotion des moyens de subsistance alternatifs, et la formation des mineurs aux techniques d'exploitation SMARTER (Huntington & Marple-Cantrell, 2022). Par exemple, des campagnes de formation régulières ont encouragé certains mineurs à utiliser des cornues lors de la combustion du mercure (Saldarriaga-Isaza *et al.*, 2013). Cependant, les résultats de ce type d'intervention varient. Ainsi, plusieurs projets d'assistance au Mali, visant à établir des entreprises minières plus responsables ont échoué, principalement parce qu'ils se sont concentrés uniquement sur les aspects techniques, négligeant les dimensions socioéconomiques cruciales (Keïta, 2001).

L'échec relatif du paradigme de la formalisation

Malgré ces nombreuses tentatives, les opérations restent largement informelles et les mineurs continuent d'utiliser des pratiques nocives pour l'environnement et la santé humaine. Ce qui prouve que la formalisation n'a pas atteint le résultat escompté (Siwale & Siwale, 2017). Si la formalisation peine à atteindre les objectifs fixés, c'est parce que plusieurs défis subsistent.

L'un des défis de la formalisation réside dans la difficulté pour les mineurs artisanaux d'accéder à des titres miniers. Dans de nombreux cas, le processus d'obtention des licences est complexe, coûteux pour la majorité des mineurs, qui manquent des ressources financières et des connaissances techniques pour répondre aux exigences administratives (Bester, 2023 ; Hilson *et al.* 2020 ; Hilson *et al.* 2017 ; Verbrugge,

2015, Hilson, 2011). Ces barrières perpétuent l'activité informelle, et la formalisation reste un horizon lointain pour de nombreux mineurs. (Hilson *et al.*, 2017) ont affirmé que les gouvernements de toute l'Afrique subsaharienne sont complices de la perpétuation de l'exploitation artisanale informelle de l'or. Cela s'applique au Niger, où selon certains auteurs, le manque de capacité des autorités à gérer les activités d'exploitation artisanale de l'or alimente l'informalité du secteur (BNIC/SCP, 2013). D'autres auteurs soulignent par ailleurs l'absence de politiques économiques adaptées aux divers gouvernements impliqués dans l'EMAPE (Fisher, 2007).

Un autre défi est le fait que ces activités se déroulent dans les parties périphériques des pays et les agences gouvernementales nationales n'ont tout simplement pas la capacité et les ressources nécessaires pour les surveiller. Parallèlement, des études empiriques sur l'État « par le bas » indiquent un degré élevé de soutien implicite ou explicite aux activités économiques informelles de la part des fonctionnaires locaux, motivés par des raisons politiques (soutien du grand nombre de personnes impliquées dans l'économie informelle) et/ou personnelles (augmentation des maigres salaires des fonctionnaires) (Verbrugge, 2015).

Un autre facteur d'explication réside dans le fait que la formalisation tend à ne pas tenir compte des dynamiques sociales et économiques propres aux contextes locaux où se déroule l'EMAPE. Les décisions sont prises au niveau des administrations centrales, notamment des ministères, avec une implication minimale des communautés rurales, des autorités locales, des chefs coutumiers et des orpailleurs eux-mêmes. Certains travaux font même état d'une négligence de la plupart des gouvernements, des politiques et programmes économiques régionaux et locaux et d'un manque d'enthousiasme des bailleurs de fonds à reconnaître le caractère social de l'EMAPE (Hilson et McQuilken, 2014 ; Labonne, 2014). Cela conduit à des décalages entre les aspirations et les représentations des autorités publiques et les pratiques sur le terrain des mineurs. Par exemple, dans certains cas, les acteurs enregistrés et non enregistrés opèrent non seulement en parallèle mais sont en fait étroitement liés et fortement dépendants les uns des autres (Teschner, 2012). Ainsi, la dichotomie perçue entre acteurs formels et informels dans le secteur, fondement des politiques de formalisation, n'existerait pas en réalité.

Spiegel (2015) souligne ainsi que le processus et le sens de la formalisation sont controversés. Il en distingue deux approches dominantes : la vision étroite et la vision large du processus. La vision étroite est liée à l'école légaliste et principalement aux écrits d'Hernando De Soto. Cette école se concentre sur l'acquisition d'un titre légal et soutient que la formalisation est donc un résultat qui se termine par l'octroi d'un titre. Siwale et Siwale (2017), défenseurs d'une vision plus large, indiquent qu'une faiblesse des affirmations de De Soto, y compris celles de l'école légaliste, réside précisément dans une concentration trop limitée sur le titre légal comme clé qui ouvrerait l'accès à un marché libre pleinement opérationnel. Or, des études ont montré que, même dans les contextes où l'EMAPE a été formalisée, la déforestation et la pollution des écosystèmes, notamment par le mercure, persistent (Álvarez-Berríos *et al.,* 2021, Swenson, 2011). Le simple passage de l'informalité à la légalité n'induit pas nécessairement un changement dans les pratiques environnementales des mineurs, en l'absence de mécanismes efficaces de contrôle et de suivi. Cela montre que la formalisation, en tant que solution unique, ne parvient pas à répondre aux défis environnementaux complexes posés par l'EMAPE.

Dans la lignée de cette compréhension large des enjeux de formalisation, Heemskerk (2005) montre que la formalisation peut être conceptualisée comme le processus d'enregistrement et d'organisation de l'activité d'orpaillage sur le terrain. Suivant ce paradigme, la formalisation repose sur une vision de l'EMAPE comme une activité désordonnée qui nécessiterait une intervention extérieure pour être efficace et durable. Or, cette perspective tend à ignorer les logiques internes et les systèmes d'organisation informels qui sous-tendent l'activité minière artisanale. Dans de nombreux cas, ces systèmes ont prouvé leur résilience et leur capacité à maintenir un certain équilibre social et économique au sein des communautés locales (Huntington & Marple-Cantrell, 2021; Persaud *et al.,* 2017). La formalisation peut alors être perçue inopportune, déconnectée des besoins et des aspirations des mineurs.

Andriamasinoro *et al.* (2020) ont dressé un inventaire des situations dans les territoires africains, où le manque de dialogue entre les différentes parties prenantes liées à l'exploitation aurifère (orpailleurs, institutions, riverains, entreprises, etc.) a conduit à des méfiances, des incompréhensions, voire des conflits.

Charles *et al.* (2013) critiquent les approches politiques et réglementaires basées uniquement sur l'opinion des experts, soulignant que le manque de compréhension des perceptions et des connaissances locales conduit à l'échec des politiques de prévention des risques. Pour Labonne (2014), les stratégies de développement de l'EMAPE proposées par les experts et les consultants des bailleurs de fonds ne répondent pas aux demandes exprimées par les communautés. Gagnol *et al.* (2023) ont montré que l'intervention gouvernementale au Niger a conduit à une réorganisation territoriale, à une convergence d'intérêts politiques et économiques entre les élites des périphéries aurifères et le gouvernement central, et à des conflits éthiques sur l'accès aux gisements et la répartition des bénéfices. Ces dynamiques contribuent parfois à l'illégalisation, à la précarité, voire à la criminalisation de l'extraction de l'or.

La criminalisation de l'EMAPE crée un climat de violence et d'incertitude qui remet en question l'efficacité même de la formalisation. En effet, les gouvernements de nombreux pays d'Afrique subsaharienne ont mis en œuvre des stratégies de surveillance pour faire respecter les cadres juridiques associés à la formalisation de l'EMAPE. Ces stratégies impliquent la tenue des propos hostiles envers les mineurs (Sawadogo, 2021) et le plus souvent l'utilisation de forces de défense et de sécurité, telles que la police ou l'armée, pour surveiller les sites miniers informels et expulser les mineurs artisanaux (voir par exemple Dessertine et Noûs, 2021, Osei *et al.* 2021; Hilson et Maconachie, 2020 ; Spiegel, 2015 ; Hilson *et al.,* 2014). Dans de nombreux cas, ces interventions policières ou militaires, souvent mal planifiées et exécutées sans dialogue avec les acteurs locaux sont menées avec violence et engendrent des pertes matérielles importantes pour les communautés minières et, pertes économique de l'EMAPE (c'est-à-dire du potentiel d'emploi et de revenus) (Eduful *et al.,* 2020 ; Hilson, 2017; Spiegel, 2015), en particulier pour les jeunes (Hilson et Maconachie, 2020). Ce climat de répression nourrit un cycle de méfiance entre l'État et les communautés minières, rendant la formalisation encore plus difficile à mettre en œuvre.

En conclusion, le paradigme de la formalisation de l'EMAPE, malgré ses intentions louables, présente des limites importantes. Son échec relatif découle principalement de la difficulté à concilier les dynamiques locales, les aspirations des acteurs de terrain et les réalités économiques et sociales.

2.3.2. Recherche et développement pour le suivi des impacts environnementaux de l'EMAPE

A plusieurs niveaux, la télédétection, à travers l'observation de la Terre via notamment des images satellites, offre de nombreuses applications pour suivre et comprendre les impacts environnementaux de l'orpaillage. En fournissant des informations détaillées à différentes échelles, elle renforce les efforts de régulation menés par les gouvernements et les acteurs du développement. Ainsi, grâce aux images à haute et très haute résolution, il est possible de cartographier l'EMAPE et d'étudier sa dynamique spatiale.

Les apports de la télédétection

Depuis la fin des années 1940, les capteurs spatiaux sont utilisés pour observer et mesurer l'impact de l'exploitation des ressources naturelles (Cracknell, 2018). Cependant, ce n'est qu'au début des années 2000 que la télédétection a commencé à être appliquée à l'analyse de l'exploitation minière artisanale (Almeida-Filho & Shimabukuro, 2002). Depuis ces travaux, de nombreuses études ont approfondi et diversifié l'analyse de l'impact de l'orpaillage à travers le monde en utilisant la télédétection (Diringer et al., 2020; Gallwey et al., 2020; Obodai et al., 2019; Caballero Espejo et al., 2018; F. de L. Lobo et al., 2018; Isidro et al., 2017; Snapir et al., 2017; LaJeunesse Connette et al., 2016; F. D. L. Lobo et al., 2016; Asner et al., 2013; Schueler et al., 2011; Gond et al., 2004). Ces progrès ont été possibles grâce aux avancées rapides dans les technologies des capteurs et de l'informatique, qui ont considérablement élargi les champs d'application de la télédétection. Il s'agit notamment de l'augmentation du nombre d'image de haute résolution en accès gratuit (par exemple Landsat et Copernicus), ainsi que divers ensembles de données. De plus, l'accès à ces données a été facilité par l'émergence de plateformes numériques basées sur le Cloud (Google Earth Egine par exemple), simplifiant ainsi la gestion des *big data*. Cela permet aussi la réintégration des données d'archives et historiques, un élément crucial pour documenter l'évolution temporelle des changements de la surface terrestre, en particulier dans le cadre des activités d'EMAPE (Moomen *et al.,* 2024 ; Cracknell, 2018). La télédétection est donc essentielle pour mesurer les impacts et l'évolution de l'EMAPE, car elle fournit des données régulières permettant d'observer les changements environnementaux sur de vastes étendues, y compris dans des zones reculées et difficiles d'accès.

Le principal paramètre utilisé pour suivre et/ou évaluer l'impact environnemental de l'exploitation minière artisanale par télédétection est le couvert végétal (Mhangara *et al.,* 2020). Les activités minières impliquent le défrichage de la végétation et l'excavation des surfaces du sol, créant des caractéristiques physiques particulières qui les différencie des autres formes d'occupation des sols. Ces caractéristiques sont visibles et détectables par imagerie satellite (Isidro *et al.,* 2017). De plus, les impacts sur les cours d'eau, tels que l'augmentation de la turbidité ou la contamination par le mercure, peuvent également être détectés par télédétection (Moomen *et al.,* 2022). Plusieurs études ont ainsi analysé les impacts environnementaux de l'EMAPE en Afrique et dans d'autres régions du monde en utilisant la télédétection (Dossou Etui *et al.,* 2024; Nursamsi *et al.,* 2024; Moomen *et al.,* 2024, 2022; Ngom *et al.,* 2023). Ces travaux ont permis d'évaluer des phénomènes tels que l'expansion des sites, la déforestation, la dégradation des sols, la pollution des cours d'eau et les modifications de la couverture terrestre, offrant ainsi un aperçu global des effets de l'EMAPE sur l'environnement.

Dans la sous-région ouest africaine, parmi les exemples des travaux utilisant la télédétection pour la mesure des impacts environnementaux de l'EMAPE, on peut citer (Baddianaah *et al.,* 2022; Ngom *et al.,* 2022; Barenblitt *et al.,* 2021; Nyamekye *et al.,* 2021; Gallwey *et al.,* 2020; Obodai *et al.,* 2019). Ces études ont utilisé des données optiques de haute et moyenne résolution pour identifier et suivre le développement des activités artisanales de l'or et leurs impacts sur l'environnement. Lorsque les conditions atmosphériques (par exemple, la couverture nuageuse élevée) perturbent l'utilisation de ces images satellites optiques, même à haute résolution, pour observer les zones d'EMAPE, l'utilisation du radar permet de surmonter ces défis (Janse van Rensburg & Kemp, 2022; Ammirati *et al.,* 2020). D'autres techniques combinent les capteurs optiques et radar pour bénéficier de l'avantage du couplage (De Luca *et al.,* 2022; Forkuor *et al.,* 2020; F. de L. Lobo *et al.,* 2018).

Pour analyser les données, les études utilisent des méthodes de travail qui peuvent être plus ou moins complexes. Certaines utilisent des techniques simples, comme la photo-interprétation, le seuillage et la numérisation manuelle, des méthodes qualitatives qui permettent d'identifier visuellement les sites.

D’autres, en revanche, s’appuient sur des technologies plus avancées, comme l’intelligence artificielle et des méthodes statistiques sophistiquées, pour analyser les données de manière automatisée. Les modèles de classification d'images utilisent parfois des algorithmes d'apprentissage automatique (Machine Learning ou ML). Les algorithmes de ML sont capables de capturer des modèles complexes dans les données, peuvent utiliser différentes sources de données en entrée, telles que des bandes spectrales, des indices dérivés, des données topographiques pour améliorer la précision de la classification et sont non paramétriques (Maxwell *et al.,* 2018). Dans les études sur l’EMAPE, les algorithmes ML les plus fréquemment utilisés dans la classification d'images satellites sont les classificateurs de forêt aléatoire (RF), les machines à vecteurs de support (SVM) (supervisées), les arbres de décision (DT) et les réseaux de neurones artificiels (ANN).

Le choix des méthodes et données peuvent être influencés par la géologie et la configuration des sites d’orpaillage qu’il faut adapter pour la cartographie et l’analyse de l’EMAPE. Les variations locales, comme les caractéristiques géologiques (gisements filoniens ou de surface), imposent des approches spécifiques pour capter précisément les caractéristiques des sites. Par exemple, pour des gisements filoniens nécessitant des puits et tunnels, des techniques de télédétection à haute résolution spatiale, capables de détecter de petits changements de surface, sont indispensables pour identifier les impacts. À l'inverse, pour les gisements de surface, des données multispectrales peuvent être privilégiées pour détecter les changements. Ces ajustements méthodologiques permettent d’adapter les approches de télédétection aux spécificités locales, assurant ainsi un suivi précis des impacts environnementaux de l’EMAPE.

Limites de la télédétection pour le suivi des impacts environnementaux et sociaux

A plusieurs niveaux, la télédétection offre de nombreux avantages pour informer les décideurs politiques de certains problèmes liés à l’orpaillage. Cependant, dans les pays en développement, notamment en Afrique, l'accès à ces données reste souvent limité (Moomen *et al.*, 2022). Par exemple, l’accès aux images satellite à très haute résolution nécessite un paiement et reste coûteux. Plusieurs travaux ont donc développé des techniques permettant d’étudier l’EMAPE à partir d’images de moyenne et haute résolution spatiale mais ayant une résolution temporelle plus importantes. Au Sénégal par exemple, Ngom *et al.*, (2020) ont

proposé une méthode de détection et de cartographie des sites EMAPE avec le minimum de confusion possible en utilisant les données Sentinel-2 et le moteur Google Earth Engine. La méthode était basée sur l'étude des propriétés spectrales au fil du temps de différents types de couverture terrestre tels que le sol nu, l'eau, la végétation, la zone urbaine, ainsi que les sites d'orpaillage. Au Ghana, les travaux de Barenblitt *et al.,* (2021) ont permis d'analyser la déforestation induite par l'EMAPE. Leur étude a révélé qu'entre 2014 et 2017, environ 47 000 ha de végétation ont été détruits par les activités EMAPE à un rythme moyen d'environ 2 600 ha par an. Au Niger, Abass Saley *et al.* (2021) ont pu cartographier l'évolution du site minier de Koma Bangou pendant quatre décennies à l'aide de données Landsat. Dans le sud du Ghana, Snapir *et al.* (2017) ont appliqué une approche de classification non supervisée sur les données du satellite UK-Disaster Monitoring Constellation-2 (UK-DMC2) à une résolution de 22 m pour analyser la destruction des zones de culture du cacao en raison de l'exploitation minière illégale d'or entre 2011 et 2015.

Une autre limite de l'utilisation de la télédétection dans l'étude de l'EMAPE est la possibilité de confusion entre les classes après la classification. En effet, la similarité des caractéristiques physiques peut entraîner une fausse classification. Dans de contexte de grande province, des sols nus pourraient être confondu aux sites miniers. Raison pour laquelle l'intégration des données de télédétection avec des informations de terrain est indispensable pour garantir des analyses précises (Moomen *et al.,* 2024). En outre, les informations fournies par les images satellitaires confèrent un pouvoir notable aux acteurs qui en contrôlent l'accès et l'interprétation (Kugler *et al.,* 2019; M. D. Turner, 2003). Cela peut influencer la production des cartes d'EMAPE en fonction des cadres et des objectifs politiques de ces acteurs, soulevant ainsi des questions éthiques et d'objectivité (Ngom *et al.,* 2023,Venot *et al.,* 2022). Bien qu'elle puisse jouer un rôle important dans les efforts de durabilité de l'EMAPE, la télédétection ne devrait pas être utilisée uniquement comme un outil de surveillance ou de répression. Pour maximiser son impact positif, elle devrait favoriser une gouvernance inclusive, en intégrant les perspectives locales.

Enfin, la télédétection se révèle incapable de saisir les dynamiques sociales sous-jacentes aux transformations observées dans les territoires miniers. Si les images satellites permettent d'identifier des

phénomènes tels que la déforestation ou l'expansion des activités minières, elles ne renseignent ni sur les causes sociales ni sur les motivations économiques de ces changements. Les dynamiques socio-politiques, les relations de travail et les dynamiques de mobilité échappent ainsi à ce type d'observation. Or, ces éléments sont cruciaux pour comprendre pleinement les pratiques et les impacts de l'orpaillage, et ils appellent des méthodes de recherche plus inclusives. Dans ce sens, Fisher *et al*. (2021) insistent sur l'importance d'une approche multidisciplinaire pour saisir la complexité des enjeux de durabilité liés à l'EMAPE. La télédétection devrait être enrichie par d'autres savoirs, scientifiques ou non, qui apportent une compréhension à ces enjeux. Néanmoins, intégrer cette diversité de connaissances soulève des défis conceptuels et opérationnels : cela requiert non seulement des recherches véritablement interdisciplinaires, mais aussi des méthodes participatives qui intègrent les perspectives des communautés locales.

2.3.3. La nécessité d'une approche adaptée pour la compréhension des dynamiques locales

L'EMAPE est un secteur marqué par de fortes controverses. Bien qu'elle fournisse des moyens de subsistance à des millions de personnes, la mauvaise compréhension du secteur, combinée à des niveaux élevés d'informalité et à des problèmes environnementaux significatifs, en fait une cible privilégiée de discours négatifs émanant des médias, des gouvernements et d'autres parties prenantes. Le secteur est ainsi fréquemment présenté comme anarchique, criminalisé (Hilson & Garforth, 2013), voire comme un « fléau » pour l'investissement (Kouamelan *et al.*, 2015).

Ces représentations contribuent à légitimer des politiques de contrôle et de légalisation, qui tendent paradoxalement à marginaliser davantage les acteurs de l'EMAPE, en perpétuant le *statu quo* de l'informalité et des normes environnementales et sanitaires insuffisantes (Persaud *et al.*, 2017).

Vers une durabilité située et pluraliste de l'EMAPE

L'exploitation aurifère artisanale, bien qu'ancrée dans les réalités économiques et sociales des communautés rurales d'Afrique subsaharienne, pose de redoutables défis en matière de durabilité. Elle met en tension des visions concurrentes : opportunité de subsistance pour les populations locales, menace environnementale pour les institutions internationales, et obstacle à la gouvernance pour les États. Cette

pluralité de perspectives rend difficile la formulation de solutions durables universelles et appelle à des approches différenciées.

Comme le soulignent Fisher *et al.* (2022) ou Scoones *et al.* (2020), les transformations attendues dans le secteur minier ne peuvent être ni linéaires, ni imposées de manière descendante. Toute stratégie de durabilité doit intégrer les dynamiques locales, les priorités des acteurs en présence, et les formes de savoirs vernaculaires, trop souvent ignorés. Les approches standardisées et technocratiques risquent, au contraire, de renforcer la marginalisation des orpailleurs, sans résoudre les problèmes sociaux ou environnementaux sous-jacents (Huff & Naess, 2022).

Dans ce contexte, la durabilité fait référence à la capacité des institutions à gérer les ressources aurifères de manière à générer des progrès environnementaux et sociaux, tout en préservant la santé, la sécurité et l'accès équitable aux ressources pour les mineurs et les communautés locales. Dans ce manuscrit, la transformation vers la durabilité est comprise non pas comme un objectif unique, défini *a priori* selon des standards techniques ou environnementaux, mais comme une co-construction située, façonnée par les contextes locaux de l'exploitation minière.

C'est pourquoi une lecture transformative de la durabilité appliquée à l'EMAPE nécessite de reposer des questions fondamentales : que faut-il transformer ? Qui peut (et doit) porter ce changement ? Selon quelles modalités ? Répondre à ces questions suppose de reconnaître que la durabilité n'est pas un modèle universel à appliquer, mais un horizon à co-construire, à partir des expériences et des enjeux propres à chaque territoire (Rutting *et al.,* 2023; Mehta *et al.,* 2021).

En définitive, c'est en articulant savoirs scientifiques et pratiques locales, enjeux globaux et aspirations communautaires, que pourront émerger des formes de gouvernance plus équitables et des trajectoires durables réellement adaptées aux territoires concernés par l'orpaillage.

Un nombre croissant de travaux de recherche qui s'inscrivent dans des approches transdisciplinaires

Dans cette perspective d'une durabilité située et pluraliste, un nombre croissant de travaux de recherche soulignent la nécessité d'approches transdisciplinaires, c'est-à-dire mobilisant non seulement plusieurs disciplines académiques, mais intégrant également les savoirs des acteurs locaux. Face à l'échec des stratégies descendantes de formalisation ou de régulations, ces travaux mettent l'accent est mis sur le développement d'une planification participative, l'engagement communautaire et l'expérimentation de solutions adaptées aux contextes locaux (Spiegel et Veiga, 2010). Pour Fadlallah *et al.* (2020), l'implication directe des orpailleurs et des résidents dans les processus de renforcement des capacités est une condition essentielle à l'adoption de pratiques plus sûres et durables. Friendship et Furgal (2012) vont dans le même sens, en soulignant que l'efficacité d'une politique de gestion des risques se mesure à sa capacité à impliquer les communautés locales par la mise en place de partenariats solides. En impliquant les communautés dans la production de connaissances sur les risques, elles seront mieux équipées pour les identifier et les traiter. Stylo *et al.* (2020) défendent également une approche participative pour la mise en œuvre des stratégies qui favorisent le développement économique local, la protection de la santé et la préservation de l'environnement. Cette logique rejoint les principes de la science de la durabilité, qui exige l'articulation des objectifs et des perspectives de multiples parties prenantes – issues d'horizons professionnels, sociaux ou institutionnels variés – et la reconnaissance de la diversité des priorités en présence (Duff & Downs, 2019; Brandt *et al.,* 2013). L'un des défis majeurs que soulève cette posture transdisciplinaire est de permettre aux institutions publiques d'évoluer vers des modes de gouvernance réellement inclusifs, capables de faciliter le dialogue entre les différents acteurs, d'anticiper les conflits et de co-construire des orientations partagées (Duff et Downs, 2019). Il s'agit aussi de décider qui doit être considéré comme une partie prenante légitime, à quels moments, et selon quelles modalités de participation. Dans ce cadre, plusieurs initiatives récentes ont exploré de nouvelles formes de médiation et de dialogue. Andriamasinoro *et al.* (2020), par exemple, ont mis au point une simulation multi-agents participative pour aider à réfléchir aux scénarios de formalisation du secteur de l'EMAPE. D'autres outils, comme les jeux sérieux développés par Cerceau *et al.* (2024) dans le Liptako-Gourma, ou la « Fresque du mercure et de l'orpaillage » testée

récemment au Suriname (Marcadé *et al.*, 2024), témoignent du potentiel de ces dispositifs pédagogiques pour faciliter la compréhension mutuelle et l'échange sur les enjeux complexes que soulève l'EMAPE.

Ces travaux confirment qu'une gouvernance durable du secteur ne peut émerger qu'à travers des dispositifs collectifs de réflexion, de négociation et de co-construction, et qu'une telle gouvernance suppose d'abord de reconnaître la légitimité et l'utilité des savoirs produits localement, en contexte.

2.4. Problématique, objectifs et hypothèses de travail

Aborder les enjeux complexes de l'orpaillage en Guinée sous cet angle nous invite à adopter une posture de chercheur-médiateur. Il ne s'agit pas ici de prendre parti, ni pour ni contre le développement ou la formalisation de l'orpaillage, mais d'être attentif aux transformations qu'il engendre – qu'elles soient spatiales, environnementales, sociales ou institutionnelles – dans les territoires concernés.

Contrairement à d'autres acteurs impliqués dans le secteur – comme les administrations publiques, les ONG ou les bailleurs de fonds – qui endossent souvent un rôle normatif ou expert, cette recherche se positionne dans une logique participative. Notre rôle n'est pas de proposer des solutions toutes faites, mais de documenter les dynamiques en cours, de valoriser les savoirs locaux et de rendre visibles les tensions et les représentations divergentes. Il s'agit donc moins de produire un plan d'action que de favoriser l'interprétation, la compréhension et le dialogue entre les acteurs concernés. Cette posture implique de se situer comme révélateur de tensions, de ressources et de trajectoires, à partir d'une lecture fine des pratiques et des discours, sans chercher à les juger ni à les uniformiser.

Problématique

Sur la base des constats exposés ci-dessus, la problématique de notre travail de thèse peut, en synthèse, être formulée de la manière suivante : Dans un contexte politique de tensions vers la formalisation du secteur de l'EMAPE, comment les innovations techniques transforment-elles les dynamiques socio-spatiales et environnementales des territoires miniers en Guinée ?

Questions spécifiques

Les réponses à trois questions spécifiques serviront de guide à notre démarche :

- Comment des innovations techniques induisent-elles des changements dans la gouvernance de l'EMAPE et questionnent-elles les politiques de formalisation du secteur ?
- Quel rôle la télédétection, en tant qu'innovation technique, peut-elle jouer pour une gestion durable de l'orpaillage ?
- Comment peut-elle contribuer à la prise en main, par les acteurs locaux, de la mise en œuvre d'une gestion durable de leurs ressources et de leurs pratiques ?

Objectifs

Sur le terrain, et en coopération avec les diverses parties prenantes de l'EMAPE, nous nous fixons les objectifs suivants pour répondre aux questions spécifiques précédemment définies :

- Documenter les transformations sociotechniques à l'œuvre avec l'apparition de la mécanisation sur les sites d'orpaillage
- Questionner le rôle de la télédétection dans la gestion durable de l'orpaillage
- Tester la cartographie participative comme espace de dialogue renouvelé entre acteurs institutionnels et orpailleurs pour une plus grande durabilité du secteur

Hypothèses

Les hypothèses à la base de notre travail de recherche, tant bibliographique ou à partir du traitement de données en laboratoire que sur le terrain et l'obtention de données nouvelles, peuvent, ainsi, être exprimées de la manière suivante :

- Hypothèse 1 : la mécanisation des techniques d'extraction d'or en Haute-Guinée a transformé les pratiques d'exploitation artisanale et a fait émerger de nouveaux acteurs qui influent sur la mise en œuvre des politiques de formalisation du secteur.

- Hypothèse 2 : la télédétection est un outil de suivi environnemental de l'EMAPE qui permet de documenter les impacts environnementaux de l'intensification de l'EMAPE.
- Hypothèse 3 : la mise en œuvre de démarches de cartographies participatives participe d'une transformation des représentations liées à la mécanisation de l'EMAPE

2.5. Plan du manuscrit

Les résultats de cette thèse sont ainsi structurés en trois articles répondant chacun aux différentes questions de recherche. La figure 3 présente l'organisation de ces articles. Le premier article est publié, le second est soumis, et le troisième, rédigé sous forme d'article, sera prochainement soumis. Les articles, sont accompagnés d'une introduction et d'une discussion.

Dans le chapitre III, nous présentons la zone d'étude, la préfecture de Siguiri, en abordant le contexte historique et géologique de l'exploitation aurifère. Nous avons décrit comment l'or y est exploité, les techniques utilisées par les mineurs et leur relation avec l'environnement. Dans ce chapitre, nous avons également introduit également l'approche pluridisciplinaire employée pour répondre aux questions de recherche.

Les chapitres IV, V et VI présenteront les réponses apportées aux différentes questions de recherche. Le chapitre IV traite la première question de recherche, portant sur les transformations socio-politiques induites par la mécanisation.

Article 1 : Doumbouya, I. K., Dessertine, A., Vinches, M., Cerceau, J. (2024) Mechanization of artisanal and small-scale gold mining in Guinea: socio-technical trajectory of a rural mining site in Upper Guinea, *Journal of Rural Studies*.

Le chapitre V présente ensuite sur les dynamiques spatiotemporelles, répondant à la deuxième question de recherche.

Article 2 : Doumbouya, I.K., Vinches, M., Dessertine, A., Cerceau, J., Konaté, A. A Mapping and Analysis of the Expansion of Artisanal Gold Mining in Guinea Using Remote Sensing, soumis à *GeoJournal*.

Enfin, le chapitre VI intègre les perspectives des communautés locales, permettant d'approfondir la compréhension des dynamiques de l'orpaillage, et répond ainsi à la troisième question de recherche.

Article 3 : Doumbouya, I.K., Cerceau, J. Vinches, M., Dessertine, A., Transformation des pratiques d'orpaillage : l'usage de la cartographie participative pour analyser les représentations des acteurs locaux. En cours de soumission.

Le chapitre VII présente la discussion générale avant la conclusion de l'étude.

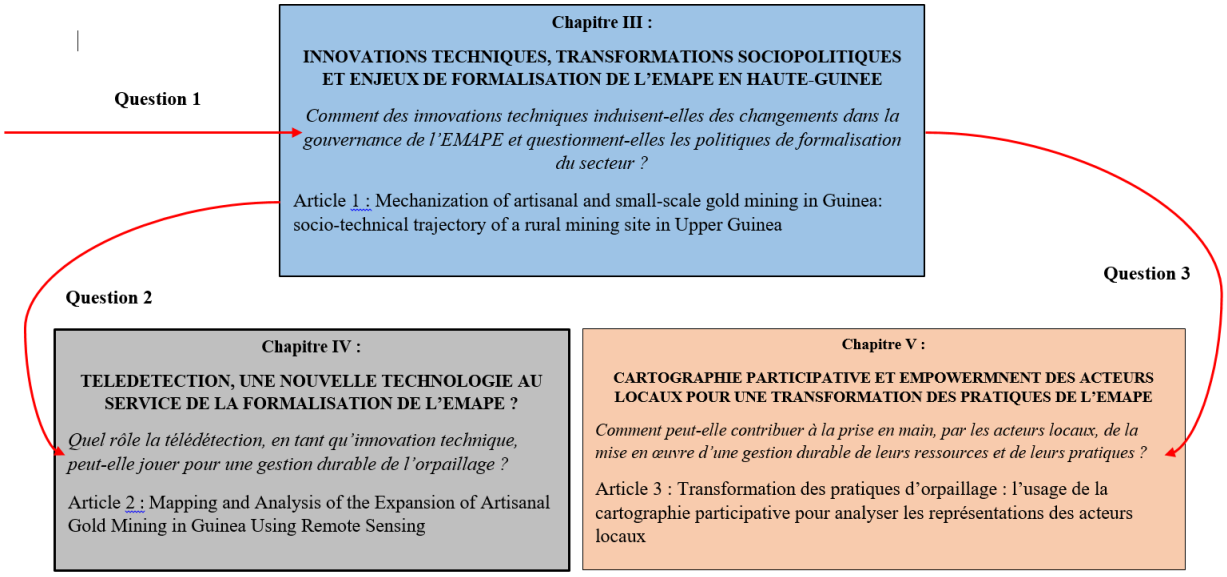


Figure 5 : Articulation des chapitres autour des questions de recherche de la thèse

Chapitre III : Matériel et Méthodes

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

Dans ce chapitre, nous présenterons d'abord le contexte général de cette zone d'étude en détaillant ses caractéristiques géographiques, géologiques et socioéconomiques, ainsi que les dynamiques préexistantes à la mécanisation de l'orpaillage, afin de montrer en quoi ce cas est pertinent pour analyser les impacts de la mécanisation de l'orpaillage. Enfin, nous décrirons l'approche pluridisciplinaire adoptée comme cadre méthodologique pour répondre aux objectifs de cette thèse, en détaillant les outils mobilisés et le processus de collecte des données. Nous montrerons en quoi ce cadre méthodologique permettra d'appréhender de manière intégrée les différents aspects liés à la mécanisation de l'exploitation artisanale aurifère, éclairant ainsi la problématique centrale de cette thèse.

3.1. La Guinée comme cas d'étude des dynamiques de l'orpaillage

La Guinée est un exemple à la fois représentatif de tendances régionales et singulier des dynamiques contemporaines de l'orpaillage en Afrique de l'Ouest. Le choix de la Guinée comme cas d'étude s'avère donc particulièrement pertinent pour analyser les dynamiques de l'exploitation aurifère, tant en raison de son potentiel exceptionnel que des enjeux socio-économiques, environnementaux et des tentatives de formalisation qui y sont associés. Le potentiel aurifère de la Guinée est particulièrement significatif, bien que les données de base restent insuffisantes. Néanmoins, Mamedov *et al.* (2010) estiment qu'il serait entre 1100 et 1200 tonnes, avec 435 gisements, indices et anomalies géochimiques d'or sont reportés en Guinée aujourd'hui. Ce potentiel est le prolongement des ceintures aurifères maliennes et burkinabés de classe mondiale (Craton Ouest-Africain) (Vic et Billa, 2015). L'exploitation aurifère y est largement développée et se caractérise par une dualité marquée : d'une part, l'exploitation industrielle se développe, portée par plusieurs grandes mines, notamment la mine de Lefa à Dinguiraye, la mine Tri-K à Mandiana, ainsi que les mines de Kintinian et de Saraya à Siguiri, qui figurent parmi les sites les plus importants du pays ; d'autre part, l'EMAPE joue un rôle central, représentant jusqu'à 74 % des exportations nationales d'or en 2024 (MMG, 2024), un niveau supérieur à celui observé au Ghana (30 %) ou au Burkina Faso. Le développement de l'orpaillage s'inscrit dans des contextes spatio-temporels contrastés. D'une part, on observe une

dynamique de réémergence dans certaines régions à forte tradition aurifère, notamment autour de Siguiri, où l'activité remonte à plusieurs siècles (Bouré et Séké). Les populations y ont développé un ensemble de techniques, de règles et d'institutions pour encadrer l'orpaillage. D'autre part, le nord-ouest, en particulier la préfecture de Gaoual, connaît depuis 2021 un boom aurifère inédit, lié à la découverte de nouveaux gisements, tandis que des zones comme la Guinée Forestière ne développent qu'une exploitation artisanale limitée, contrainte par la faible teneur des minerais. Cette diversité contextuelle, marquée par l'expansion vers de nouvelles frontières minières pourrait ainsi se poursuivre en Guinée et s'étendre à des régions non productrices. Enfin, la Guinée est engagée depuis une décennie dans un processus de formalisation du secteur artisanal, combinant des réformes législatives (code minier révisé), des programmes de délimitation de zones artisanales et d'appui aux mineurs artisanaux. Toutefois, les effets de cette formalisation restent ambivalents : s'ils offrent un cadre juridique et des outils de régulation, ils se heurtent à des pratiques locales résilientes, à des conflits d'usage persistants et à des difficultés d'application sur le terrain.

Toutes ces caractéristiques font de la Guinée un terrain d'étude pertinent à l'aune des problématiques actuelles de l'industrie minière, en particulier de l'EMAPE.

3.2. Matériel : Contexte de la zone d'étude

La zone d'étude est située en Haute Guinée dans la partie nord-est de la Guinée, à la frontière de la République du Mali. Elle couvre environ une superficie de 23 377 km^2 environ ($1/10^{ème}$ du territoire national), comprise entre 11° 00 et 12° 00 de latitude Nord et 9° 00 et 10° 00 de longitude Ouest. Administrativement, elle se situe dans la préfecture de Siguiri, et plus particulièrement dans les sous-préfectures de Kintinia et Doko, historiquement connues sous les noms de Bouré et Sèkè. Kintinia est célèbre pour son exploitation aurifère qui remonte à plusieurs siècles. L'orpaillage y constitue une pratique ancestrale, structurée autour d'une organisation rigoureuse. De plus, Kintinia se distingue par la présence, depuis plusieurs décennies, de la plus grande compagnie aurifère du pays, ce qui en fait un cas particulier dans le paysage minier guinéen. Doko, quant à elle, est associé à l'ancienne région de Sèkè. Bien que le nom de Sèkè n'apparaisse pas aussi fréquemment que celui de Bouré dans la littérature historique,

l'orpaillage y est également pratiqué depuis plusieurs siècles. En plus de cette tradition aurifère, Doko se distingue par son activité agricole, notamment la culture du maïs. Par ailleurs, sa proximité avec la frontière malienne en fait une zone de transit migratoire constante des mineurs artisanaux. Enfin, Doko est devenu ces dernières années le théâtre d'intenses activités d'exploration et de prospection menées par diverses compagnies minières (semi-)industrielles.

3.1.1. Contexte géologique

Contexte géologique régional

La zone d'étude se situe dans le Craton Ouest-Africain (COA) connu pour abriter de nombreux gisements d'or de classe mondiale (Markwitz *et al.*, 2016; Vic & Billa, 2015; Milési *et al.*, 2004). Le COA se compose de roches archéennes (3,6 Ga à 2,5 Ga) (Kouamelan *et al.*, 2015; Parra-Avila *et al.*, 2017) et paléoprotérozoïques (2,3 Ga à 1,9 Ga) (Block *et al.*, 2016; Jessell & Liégeois, 2015) et s'étend sur presque toute l'Afrique de l'Ouest. Les terrains paléoprotérozoïques, également connus sous le terme de formations birimiennes, en référence aux travaux de Kitson (1928) qui les a décrites pour la première fois dans la vallée du Birim au Ghana.

En Guinée, les formations birrimiennes se rencontrent principalement dans le bassin de Siguiri, situé à la bordure Ouest du craton Ouest Africain. Le bassin sédimentaire de Siguiri se caractérise par une saprolitisation profonde, atteignant par endroit plus de 150 mètres, et recouvert de cuirasse latéritique, limitant ainsi l'affleurement des roche (Watts, 2010). Il est constitué de formations sédimentaires et volcano-sedimentaires d'âge protérozoïque inférieur représentées par une séquence sédimentaire détritique monotone déposée lors des premières phases de l'orogenèse éburnéenne. Le faciès le plus répandu correspond aux sédiments fins (argilites et siltite, etc.) avec quelques niveaux de schistes habituellement grises ou noires, de grès, de grauwakes et de calcaires localement différenciés (Lahondère *et al.*, 2002). Par ailleurs, plusieurs intrusions magmatiques plus récentes, d'âge mésozoïque, sont présentes dans le bassin. Ces intrusions, principalement constituées de dolérites et de granodiorites, sont orientées selon un axe NE-SW. Le bassin est dominé par des séquences de turbidité de grauwacke, de grès, de mudstones, de schiste,

de siltstone, de quartzite, de calcaire et de matériel pyroclastique, ainsi que par des ceintures volcaniques intercalées comprenant principalement des roches extrusives mafiques à intermédiaires, ainsi que des coulées pyroclastiques (Beavogui, 2014). La figure 6 présente la zone d'étude

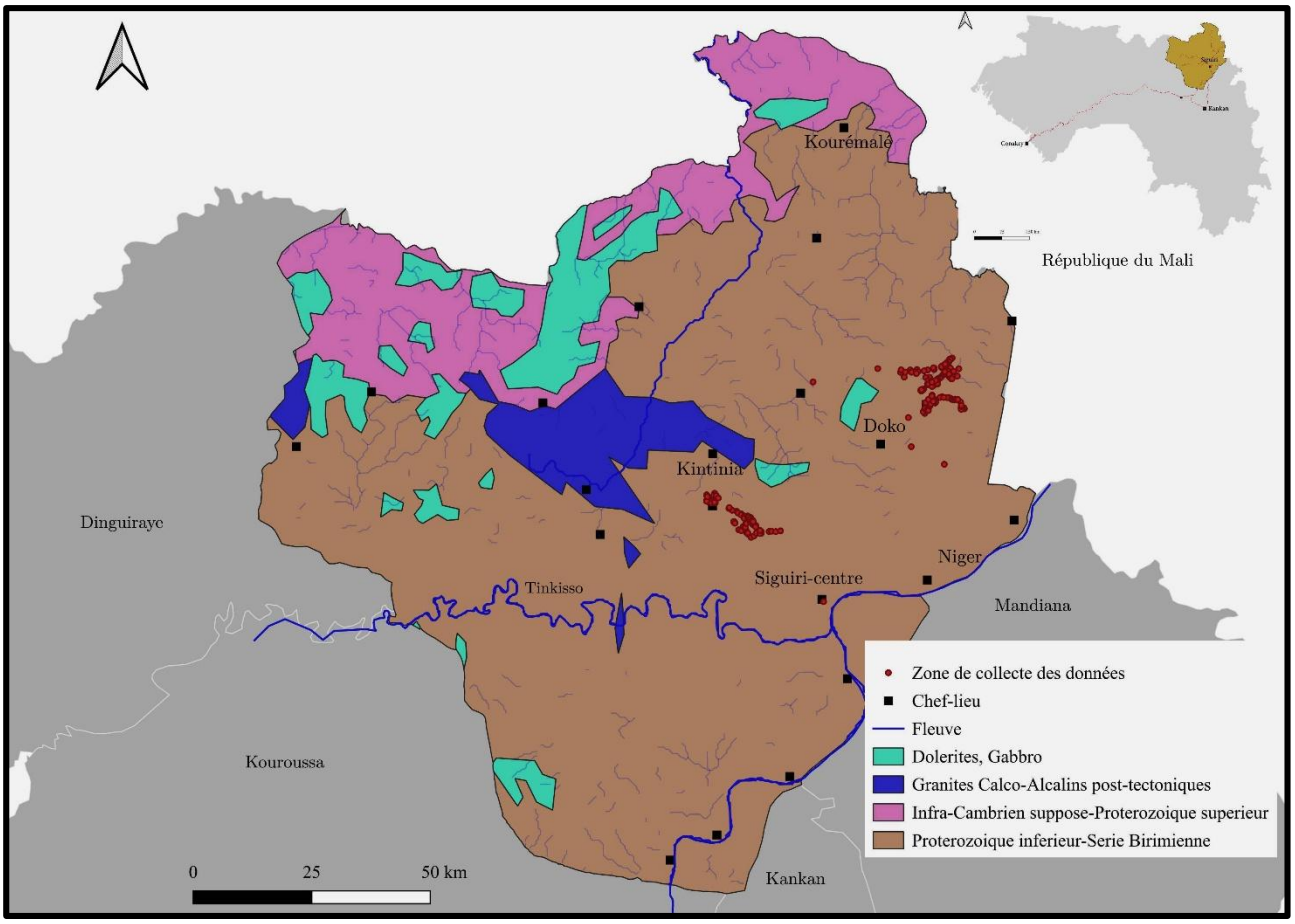


Figure 6 : Présentation de la zone d'étude

Les gisements aurifères

Les gisements d'or de la Guinée se divisent en deux catégories principales : les gisements primaires et les gisements secondaires, chacun présentant des caractéristiques spécifiques en fonction de leur genèse et de leur localisation géologique.

Gisements primaires

Les gisements primaires se rencontrent principalement encaissés dans une veine. Les veines sont à dominante de quartz, montrent un fort contrôle lithologique, et sont mieux développées dans les unités de grès/greywackes (Vic et Ballard, 2015). On peut rencontrer des formes disséminées et de stockwerks de quartz, généralement dans un encaissant métasédimentaire (schistes et tufs) très hydrothermalisé et entièrement kaolinisé (SAG, 2021). En Guinée, ces gisements sont en général d'origine hydrotherrnale et se présentent sous la forme de filons de quartz avec ou sans sulfures associés. Leur exploitation ne s'est développée que tardivement avec les sociétés industrielles, il s'agit principalement de filonets épigénitiques ou bien d'imprégnations diffuses (veinules) de 1 à 3 cm de puissance qui parsèment les schistes Birrimiens ou se concentrent dans la zone de contact Birrimien Inférieur schisteux-Birrimien Supérieur à roches vertes volcaniques. D'autres concentrations de filons aurifères ont été observées dans la zone de métamorphisme des granites tardifs. Les gîtes schisteux lardés de filonnets sont connus dans la région de Siguiri (Balato, Fatoya, Kintinian, Nankoba); les teneurs de ces stockwerks sont supérieurs à 1 g d'or/m^3 et peuvent occasionnellement atteindre 25 g d'or/m^3 (Sidam-Minorex, 1988).

Les gros filons minéralisés sont aussi connus en Guinée : comme le filon de Banora, large de 1 à 3 m et long de 600 m, d'autres filons importants se trouvent à Kouroussa et Mandiana.

Gisements secondaires

Les gisements secondaires, également appelés placers aurifères, résultent de l'érosion des gisements primaires et de la concentration de l'or dans des environnements sédimentaires. Ces gisements se divisent en deux types principaux, en fonction de la distance par rapport à leurs roches sources : les éluvions et les alluvions.

Éluvions

Les gisements éluviaux se trouvent à proximité des roches sources : ils sont le résultat de la désagrégation de roches. Les produits de désagrégation sont restés en place ou déplacés sur une courte distance.

Ces terrains aurifères se rencontrent sur les lignes de partage des eaux, les versants des vallées, et parfois dans les fonds de vallées. Les pépites d'or, souvent associées à des blocs de quartz, sont courantes. La croûte d'altération aurifère est généralement de faible profondeur, facilitant leur exploitation artisanalement.

Alluvions

Les gisements alluviaux, situés à une plus grande distance des sources primaires, se concentrent dans les vallées fluviales et aux embouchures des rivières. Les alluvions sont des éluvions qui ont été transportés par l'eau. L'or est généralement trouvé dans les graviers de l'horizon minéralisé, dont l'épaisseur varie entre 0,5 et 0,8 m, atteignant rarement 1,5 m. Les plus grandes concentrations alluvionnaires se rencontrent dans les zones de Fatoyah et Kintinia.

Les gisements secondaires, qu'ils soient éluviaux ou alluviaux, sont exploités par des orpailleurs, depuis plusieurs générations par endroit, ce qui a entraîné l'épuisement de ces ressources. Récemment, les mineurs étrangers ont développé des techniques permettant d'accéder aux gisements primaires (Lanzano & Arnaldi di Balme, 2017). Le type de gisement influence considérablement le choix technologique des mineurs artisanaux comme nous le verrons au chapitre IV.

3.1.2. Contexte géographique

Relief et végétation

La région de Siguiri s'élève en moyenne à environ 400 mètres au-dessus du niveau de la mer, avec un terrain principalement plat ou vallonné. Cependant, le chaînon de Niandan se distingue par ses altitudes, atteignant jusqu'à 900 mètres. Les plaines fertiles le long des berges du fleuve Niger jouent un rôle essentiel dans l'agriculture locale, bien qu'elles soient périodiquement submergées lors des crues fluviales. La végétation est typique d'une région de savane à grandes herbes, parsemée d'arbustes et d'arbres clairsemés, et repose sur des sols latéritiques, qui occupent une superficie importante.

Réseau hydrographique et climat

La région de Siguiri présente un réseau hydrographique dense et important. Le fleuve Niger, qui traverse la ville de Siguiri en coulant du sud vers le nord, constitue le principal bassin versant. Parmi ses affluents, le Tinkisso représente l'affluent principal du Niger, tandis que le Bakoye, affluent gauche du fleuve Sénégal, traverse le nord-ouest de la région avec un écoulement d'ouest vers le nord. Le Koba est un important ruisseau qui s'écoule dans la même direction.

Le climat de la zone d'étude, typique de la Haute Guinée, est de type tropical sec et chaud (sud-soudanien), avec des précipitations annuelles qui restent encore assez fortes, mais leur total est inférieur à chacune des trois autres régions naturelles, comprises entre 1100 et 1700 mm en moyenne par an. Il est caractérisé par l'alternance de deux saisons bien distinctes : une saison sèche de novembre à mai et une saison des pluies de juin à octobre. Durant la saison sèche, surtout en janvier et en février, le climat subit l'influence de l'harmattan, un vent du nord-est, très chaud le jour et très sec. Les températures varient entre 15°c la nuit en décembre et 40°c pendant la journée en avril.

3.1.3. Contextes démographique et économique

La population de la zone d'étude est estimée à 695 459 habitants, selon le dernier recensement national (RGPH3, 2014), avec un taux de croissance démographique annuel de 3,5 %. Cette augmentation s'explique principalement par l'attraction exercée par l'intensification de l'exploitation aurifère, qui entraîne des mouvements migratoires vers la région. Parmi cette population, 35 % résident en milieu urbain, tandis que la majorité, soit 65 %, vit en zone rurale. La région présente un des taux de scolarisation les plus faibles du pays, avec seulement 42,3 % au niveau primaire et 10,9 % au niveau secondaire.

La préfecture de Siguiri est peuplée majoritairement par les Maninka et leurs sous-groupes assimilés (Djallonka, Ouassoulou-Foula, Sarakollé) (Condé, 2017). Bien que cette région soit aujourd'hui perçue comme un centre névralgique de l'activité minière, son histoire économique et sociale est profondément ancrée dans d'autres types d'activités historiques. La région a connu plusieurs vagues de peuplement

marquées par l'assimilation des premiers occupants par les nouveaux arrivants. Les Bambara, premiers occupants significatifs ayant refoulé les Korogba[5], se seraient établis entre le 9ème et le 10ème siècles. Ils vivaient principalement de la chasse, de l'agriculture et de l'artisanat. Les Djallonka, principalement représentés par les familles Camara, les ont suivis au 13ème siècle, occupant des régions comme Bouré, où ils pratiquaient déjà l'exploitation de l'or. Les Maninka, arrivés après la bataille de Kirina en 1235, sont devenus progressivement dominants. Ils ont fondé des provinces comme Kolonkalan et Nouga sur les deux rives du fleuve Niger, habitées par des familles telles que Keita, Doumbouya, Magassouba et Traoré. Les Ouassoulou-Foula, principalement éleveurs, se sont installés au même moment et ont favorisé un brassage culturel grâce à des relations matrimoniales. Enfin, les Sarakollé, islamisés très tôt, sont arrivés au 17ème siècle. Leur rôle dans l'expansion de l'islam a été central, notamment à travers des fonctions religieuses et politiques importantes (Condé, 2017).

Jusqu'au 19ème siècle, Siguiri faisait partie intégrante des grands empires ouest africain. Cet héritage se reflète encore aujourd'hui dans l'organisation socio-économique de la région, qui reste influencée par les représentations et pratiques du Manding. Dans ce système, les aînés (Panella, 2007) jouent un rôle clé, en raison de leur expérience et de leurs connaissances, occupant une place importante dans l'organisation sociopolitique et économique des localités.

3.1.4. Petite histoire de l'EMAPE dans la zone d'étude

Les périodes de la colonisation et de l'indépendance : échecs successifs de la mécanisation

Lorsque les colons arrivent en Guinée au XIXème siècle, la région de Siguiri est sous la domination de l'empire Wassouloun de Samory Touré. Dans les deux dernières décennies du siècle, la région se retrouve au cœur du conflit qui oppose Samory Touré aux troupes françaises. Pour obtenir l'adhésion des populations locales, les colons proposent de laisser la gestion des mines entre les mains des autorités coutumières (D'avignon, 2018). En 1895, un régime minier spécifique à l'Afrique de l'Ouest est établi, reconnaissant et maintenant les droits coutumiers sous l'administration coloniale (Leyle *et al.,* 2014). Cependant, les colons

[5] Selon la traduction orale

voient dans les ressources aurifères de Siguiri une opportunité économique majeure. Par conséquent, un cadre juridique favorisant la mécanisation est mis en place parallèlement (D'avignon, 2018). De 1901 à 1908, il a été octroyé 395 permis et, en 1911, encore 533 permis d'exploration et d'exploitation d'exploration et d'exploitation sont délivrés pour promouvoir l'exploitation industrielle (Mamedov *et al.,* 2010). Malgré ces initiatives, les entreprises engagées dans ces activités se heurtent à des limites significatives, notamment le manque de ressources financières et une connaissance insuffisante de la géologie régionale, ce qui conduit à de nombreux échecs. La Société Falémé-Gambie, l'une des plus importantes à l'époque en Guinée, finit par déposer son bilan en 1930 (Trentadue, 1976). Ainsi, l'exploitation aurifère demeure artisanale et connaît un développement notable dans les années 1930, atteignant un total cumulé de quatre tonnes avant le déclenchement de la Seconde Guerre mondiale (Luning *et al.,* 2014). Cet essor n'est pas dû à la découverte de nouveaux gisements ou à des avancées technologiques, mais à des changements économiques et sociaux. La hausse du prix de l'or et la chute des revenus agricoles poussant les populations locales à s'investir davantage dans l'exploitation aurifère(Trentadue, 1976). En 1937, il est estimé qu'environ 150 000 Africains travaillent dans le cercle de Siguiri, dont au moins 100 000 sont des migrants venus de régions voisines ou lointaines, telles que Ségou (Soudan), Odienné (Côte d'Ivoire) et d'autres localités (Trentadue, 1976). La figure 7 présente une mine de Siguiri à l'époque coloniale.



Figure 7 : Une Mine à Bouré Mollet et Cie dans De Berques, A., (1907), L'or à la Guinée française, La Dépêche coloniale illustrée, vol. 7, n°23, p. 5-20.

A la fin de l'époque coloniale, il était évident que les résultats des tentatives de la mécanisation de l'exploitation aurifère en Guinée sont décevants (Balandier, 1957). A la suite de l'indépendance, l'objectif premier des autorités étaient de promouvoir l'agriculture et le contrôle des mines par l'Etat. Ainsi, l'exploitation artisanale et à petite échelle de l'or a été régulièrement interdite ou suspendue durant les périodes de travaux agricoles. À partir de 1996, l'adoption d'un nouveau code minier a marqué un tournant, permettant de relancer les explorations industrielles dans la région et d'accorder aux citoyens guinéens le droit d'exploiter l'or dans des territoires miniers historiques, à condition d'utiliser des outils artisanaux.

Depuis les années 2000 : intensification de l'exploitation aurifère et mécanisation de l'orpaillage

Les dynamiques contemporaines de l'orpaillage notamment la mécanisation ayant eu lieu à partir des années 2000, constituent le cœur de cette thèse et seront explorées en détail dans le chapitre IV. Cependant, il est utile de retracer brièvement ici les principales évolutions de cette période. Bien que l'industrialisation ait d'abord progressé lentement, la création de la Société Ashanti Goldfields (SAG) à Siguiri en 1998, avec

des concessions minières couvrant 1 495 km², a marqué un tournant. Depuis, ce processus s'est intensifié avec l'octroi de nombreux permis d'exploitation et de recherche. Cette industrialisation a entraîné, d'une part, une réduction de l'accès des orpailleurs aux espaces et ressources aurifères et, d'autre part, des opérations militaires systématiques visant à expulser les orpailleurs et à détruire leurs camps de vie et de travail (Dessertine et Noûs, 2021). La multiplication des titres miniers industriels a ainsi rendu illégales des pratiques auparavant tolérées, donnant lieu à une criminalisation des orpailleurs et à une intensification des déplacements des orpailleurs, qualifiés de « mobilités induites par expulsion » par (Bolay, 2016a).

Par ailleurs, l'évolution des techniques, l'innovation dans les équipements, et l'arrivée sur les marchés africains d'outils permettant une extraction à moindre coût (tels que marteaux-piqueurs, détecteurs de métaux, concasseurs ou motopompes), principalement importés de Chine et d'Inde, ont considérablement transformé l'activité. Ces outils facilitent non seulement l'exploitation dans les zones historiques, mais aussi la découverte de nouveaux gisements. Ces évolutions ont conduit à une augmentation significative de la production aurifère. De plus, une activité autrefois saisonnière est désormais pratiquée tout au long de l'année, témoignant de l'intensification et de la transformation de l'orpaillage artisanal en Guinée.

3.2. Méthode

3.2.1. Pluridisciplinarité, interdisciplinarité, transdisciplinarité à l'épreuve du terrain

Une approche pluridisciplinaire, ou même interdisciplinaire implique le croisement des apports de différentes disciplines pour enrichir la compréhension d'un objet d'étude complexe (Jahn *et al.,* 2012; Stokols *et al.,* 2008). Ce croisement peut se situer au niveau des méthodologies ou des dimensions explorées, notamment lorsque ces dernières ne peuvent être pleinement saisies dans le cadre strict d'une seule discipline. Dans le contexte de la mécanisation de l'exploitation artisanale de l'or en Guinée, cette approche apparaît essentielle pour saisir la complexité des enjeux sociaux, spatiaux et environnementaux.

Il s'agit d'analyser les interactions entre la mécanisation et les pratiques d'orpaillage existantes, mais aussi leurs répercussions sur les rapports de pouvoir au niveau local, les dynamiques spatio-temporelles et la

perception des acteurs impliqués. Ainsi, dans la zone de Siguiri en Guinée, les caractéristiques géologiques du gisement influencent les pratiques et les choix technologiques des mineurs. En retour, les techniques d'extraction et de traitement, ancrées dans la configuration des sites et les modèles organisationnels, façonnent les relations de pouvoir et ont des répercussions spatiales significatives. La coexistence de l'exploitation minière industrielle et artisanale à petite échelle ajoute une couche supplémentaire de complexité. Par exemple, la diffusion de détecteurs de métaux (Dessertine, 2016), le recours à des techniques avancées pour cibler des gisements primaires (Lanzano, 2020 ; Lanzano et Arnaldi di Balme, 2017) et le développement des petites mines à ciel ouvert (Dessertine *et al.*, 2023) témoignent d'une intensification des techniques artisanales, souvent influencée par la présence de l'exploitation industrielle. En parallèle, de nouvelles mobilités viennent complexifier les modèles de déplacement existants (Bolay, 2021). Ainsi, l'étude de l'EMAPE demande de croiser les regards disciplinaires, en mobilisant notamment :

- **L'anthropologie et la sociologie :** l'exploitation minière artisanale façonne et transforme les dynamiques sociales, culturelles et les relations humaines ; elle modifie les structures organisationnelles et peut engendrer des conflits liés à l'utilisation des terres et des ressources.
- **La géographie et les sciences de l'environnement :** l'orpaillage impacte fortement l'environnement et les territoires. Il entraîne des modifications du paysage, de l'usage des terres et de la mobilité. Parmi les impacts environnementaux notables figurent la déforestation due à l'enlèvement de la végétation, la contamination des sols et de l'eau par des métaux lourds, la pollution de l'air liée aux émissions de poussières, et la perturbation des écosystèmes locaux.
- **Le droit et la gouvernance :** Les activités minières, y compris l'orpaillage, sont encadrées par un cadre juridique pluriel, comprenant des lois, des règlements, des politiques publiques mais aussi des principes coutumiers et informels. Ces cadres définissent l'accès aux ressources, encadrent la redistribution des revenus issus de l'exploitation et fixent les règles pour minimiser les impacts environnementaux.

Cependant, malgré son objectif de décloisonner les disciplines, la pluridisciplinarité et l'interdisciplinarité demeurent ancrées dans une perspective qui reste, en partie, guidée par les cadres classiques des disciplines qui la composent (Le Boulch, 2002), imbriquée dans le seul contexte académique et universitaire. Or, outre le point de vue croisé des chercheurs d'horizons disciplinaires variés, il apparaît essentiel d'intégrer les perspectives des acteurs non académiques. La combinaison de l'interdisciplinarité et de la participation des acteurs extra-scientifiques constitue généralement la base de la transdisciplinarité (Brandt *et al.*, 2013; Serrat-Capdevila *et al.*, 2009; Kessel & Rosenfield, 2008; Kueffer *et al.*, 2007).

Bien que la transdisciplinarité soit utilisée depuis des décennies, aucune définition acceptée ne prévaut (Jahn *et al.*, 2012) et de nombreux travaux emploient des terminologies diverses pour qualifier ce concept (Brandt *et al.*, 2013). Cependant, l'intégration demeure la caractéristique principale qui distingue la transdisciplinarité de l'interdisciplinarité (Kajikawa, 2008). L'intégration peut être définie comme un processus visant à établir de nouvelles connexions entre des éléments jusqu'alors isolés dans un contexte donné. Ces éléments peuvent inclure des connaissances, des données, des paradigmes, des normes, ainsi que les rôles des acteurs et des institutions (Jahn *et al.*, 2012). Dans notre modèle de transdisciplinarité, l'intégration est vue comme un processus permettant d'approfondir la compréhension d'un problème en impliquant activement les orpailleurs et les institutions locales dans la production des connaissances et de données. En adoptant cette définition, il s'agit de mieux saisir comment les dynamiques spatio-temporelles sont perçues par les différents acteurs. Cette compréhension enrichie est cruciale pour développer des solutions adaptées aux contextes locaux et pour concilier les perspectives diverses.

La méthodologie utilisée de cette étude a été conçue pour apporter des réponses à ces problématiques. Elle combine des méthodes quantitatives, qualitatives et participatives comme indiqué ci-dessous (tableau 1 et figure 8). Le travail sur le terrain a souvent été mené entre avril et juin durant toute la durée de la thèse, et comprenait un éventail de méthodes de recherche comprenant.

Tableau 1 : Résumé des méthodes de recherche utilisées et des données générées

Objectifs de la recherche	**Questions de recherche**	**Méthodes de recherche**	**Données générées**
1. Analyser les dynamiques sociales induites par la mécanisation	2. Quelles sont les transformations sociotechniques à l'œuvre en Haute Guinée ? 3. Quelles sont les conséquences au niveau de la gouvernance locale ?	Approche qualitative • Entretiens avec les mineurs, les autorités locales, préfectorales • Observation directe	• Transcription de 82 entretiens • Notes de terrain
2. Analyser la dynamique spatiale	1. Quelle est la dynamique spatiale de l'EMAPE ? 2. Quels sont les impacts environnementaux ?	Approche quantitative • Télédétection • Système d'Information Géographique • Observations	• Cartographie des sites d'orpaillage • Evolution spatiotemporelle des sites d'orpaillage
3. Analyser la participation des communautés locales	Quelle est la perception des acteurs locaux de la dynamique de l'EMAPE ?	Approche participative • Ateliers de cartographie participative • Entretiens de groupe	• Cartes communautaires • Différentes représentations communautaires

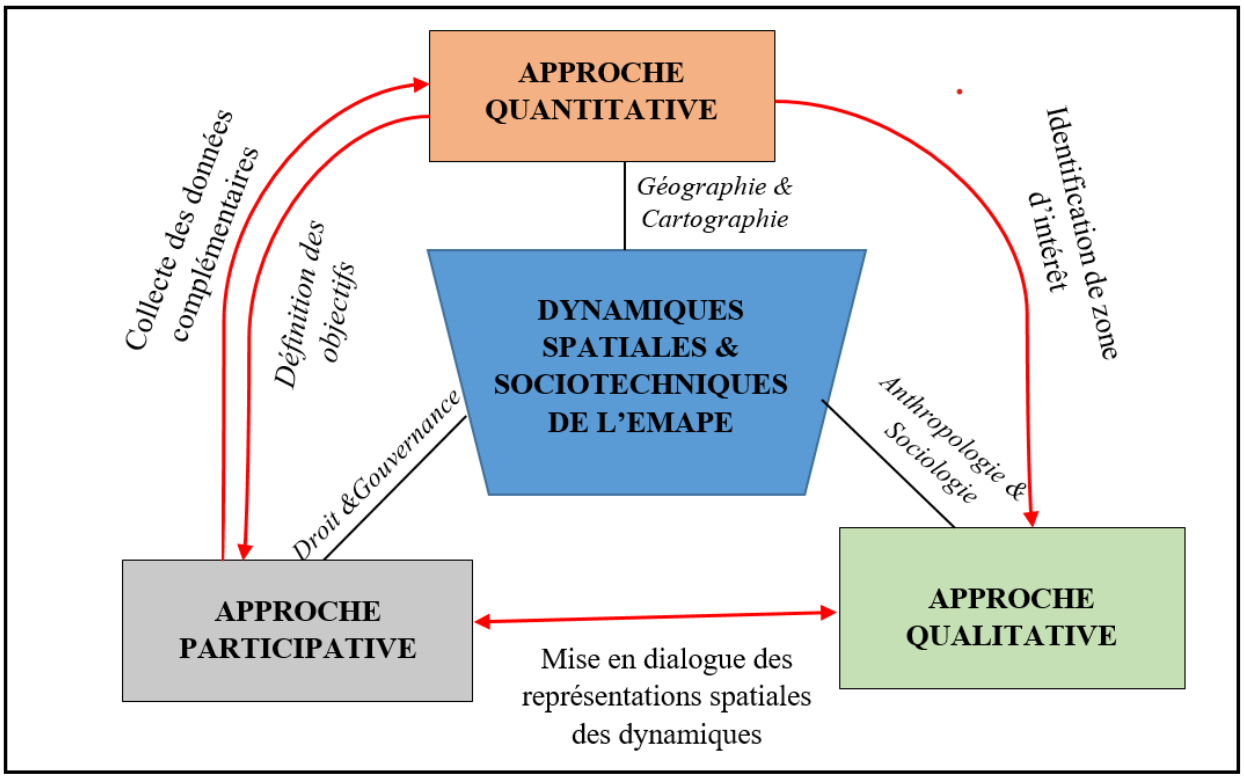


Figure 8 : Schéma méthodologique

3.2.2. Techniques de collecte de données et d'analyse

Nous proposons ici une méthode de collecte de données et d'analyse qui se veut réflexive, structurée et objectivée. Cependant, la réalité du travail de terrain, d'autant plus lorsqu'il mobilise des techniques issues de la sociologie, de l'anthropologie ainsi que de la géographie physique et humaine, s'avère bien plus complexe. Le contact direct avec le terrain, les acteurs et les contraintes techniques pousse le chercheur à réévaluer en permanence son approche et à s'adapter continuellement. Aussi, nous assumons comme le suggère Guyot (2008) que notre méthode soit composée de « vrais bricolages et plein de petits arrangements », un ensemble fait de tâtonnements, de renoncements et de compositions. Nous présentons ici les méthodes et outils qui nous ont permis d'avancer dans la compréhension de nos questions de recherche, sans ordre chronologique, mais plutôt comme une mallette, une boîte à outils que nous avons mobilisée en fonction des circonstances et de l'évolution de notre cheminement de recherche.

Entretiens

L'entretien constitue une méthode essentielle de collecte de données, reposant sur une interaction verbale en face à face, au cours de laquelle une personne partage des informations avec une autre autour d'un sujet préalablement défini. Cette méthode présente plusieurs avantages par rapport à d'autres techniques de collecte de données. Tout d'abord, elle offre un taux de réponse généralement plus élevé que les questionnaires, grâce à l'interaction directe qui favorise une implication plus importante des participants. En outre, les entretiens permettent d'approfondir les échanges, notamment en fournissant aux participants des explications détaillées sur les objectifs de la recherche. Enfin, cette approche est particulièrement adaptée à l'investigation de questions complexes, en offrant une flexibilité au chercheur et à l'interviewé pour développer les réponses en fonction des besoins et des réactions (Imbert, 2010; Aktouf, 2006).

Collecte de données

Dans le cadre de cette étude, nous avons privilégié les entretiens libres et les entretiens semi-structurés. Ces approches sont reconnues pour leur souplesse, leur pertinence méthodologique et leur utilité dans des contextes de recherche nécessitant une adaptation à des environnements socioculturels spécifiques (Olivier de Sardan, 1995). Elles se sont révélées particulièrement adaptées aux réalités des activités minières artisanales et aux interactions avec les populations environnantes, où la méfiance des individus et les contraintes pratiques peuvent limiter l'efficacité d'approches strictement structurées. L'ensemble des entretiens a été conduit à l'aide d'un guide élaboré spécifiquement pour cette recherche. Ce guide a été progressivement affiné au fil de la collecte, en fonction de la saturation des informations sur les thématiques abordées. Dans la plupart des cas, les entretiens ont été adaptés à la situation réelle de la personne interrogée. Nous avons soigneusement conçu des questions ouvertes et non suggestives, tout en évitant des sujets pouvant être perçus comme indiscrets ou sensibles (Bissonnette, 2019). Chaque entretien débutait par une présentation sommaire des objectifs de la recherche, expliquant comment les informations recueillies contribueraient à atteindre ces objectifs.

Une première mission de collecte a été réalisée entre avril et juin 2022. Durant cette phase, des entretiens essentiellement libres ont été menés dans dix localités d'orpaillage, ainsi que dans la commune urbaine de

Siguiri, dans la préfecture de Siguiri. Les villages concernés incluent Balato, Fatoyah, Kintinia et Sétiguia (sous-préfecture de Kintinia), Doko, Silabada, Bémbéta, Tombogo et Salah (sous-préfecture de Doko) et Beindou (sous-préfecture de Norassoba). Les entretiens ont impliqué divers groupes d'acteurs, incluant les responsables des services techniques et administratifs aux niveaux national (Direction nationale des mines), préfectoral (direction préfectorale des mines, équipe d'encadrement technique) et local (maires, présidents de bureaux de district, gendarmes, gardes forêts), ainsi que des orpailleurs, des membres de la population locale et des autorités coutumières (notables, chefs de village, chefs de kabila). Ainsi, 82 entretiens ont été menés au cours de cette phase.

Ces entretiens ont permis de collecter des données sur les techniques et technologies utilisées, les dynamiques de gouvernance minière locale, ainsi que les interactions entre les différents acteurs. Après analyse des premières données recueillies, des entretiens complémentaires ont été conduits dans les localités de Balato et Fatoyah, ainsi qu'à Siguiri. Le centre-ville de Siguiri a notamment servi à cette phase de la recherche de lieu de rencontre pour accéder aux informateurs clés basés dans le Sèkè.

La majorité des échanges s'est déroulée en malinké, langue majoritaire de la région, à l'exception des entretiens avec les administrateurs, menés en français. Avec l'accord des participants, certains entretiens ont été enregistrés à l'aide d'un téléphone portable.

Les entretiens ont été transcrits en vue d'une analyse approfondie. Le contenu des discours a été analysé en tenant compte de la thématique et des acteurs.

Notes de terrain

Collecte de données

Durant un séjour prolongé de six mois sur le terrain, j'ai régulièrement noté des observations continues et structurées portant sur les procédures opérationnelles, incluant les techniques utilisées, l'organisation du travail et les relations entre les différents acteurs. En plusieurs occasions, j'ai assisté à des cérémonies ou à d'autres événements sociaux, ou souvent en compagnie d'acteurs clés de la gouvernance locale (*tomboloma*, administrateurs) et d'orpailleurs dans le cadre de leurs activités quotidiennes. Parallèlement,

j'ai documenté les discussions informelles menées au quotidien afin de fournir une vision globale et détaillée des dynamiques en jeu. Chaque soir, ces notes de terrain étaient rédigées de manière exhaustive, intégrant à la fois des descriptions factuelles et des interprétations personnelles ou hypothèses sur les enjeux et les dynamiques liées à l'orpaillage.

Analyse

Ces notes ont non seulement servi de données secondaires, mais se sont avérées particulièrement précieuses pour orienter les entretiens, notamment en approfondissant certains aspects observés sur le terrain ou en clarifiant les réponses laconiques des participants, telles que des affirmations brèves (oui ou non). Ces interactions ont permis d'observer les relations entre orpailleurs eux-mêmes, ainsi que leurs interactions avec d'autres acteurs impliqués dans les activités minières. Cela a considérablement enrichi ma compréhension des pratiques locales et des dynamiques relationnelles au sein des communautés étudiées.

Systèmes d'information géographique (SIG)

Les systèmes d'information géographique (SIG) désignent un ensemble d'outils et de techniques permettant de collecter, stocker, analyser, gérer et visualiser des données spatiales et géographiques. Ils constituent une méthode essentielle pour intégrer des informations spatiales et non spatiales, facilitant ainsi une analyse multidimensionnelle et une prise de décision éclairée. Dans cette étude, les SIG ont joué un rôle central, de la collecte des données à leur analyse. Ils ont permis de prétraiter, stocker, évaluer et manipuler les données spatiales tout en assurant la gestion et la présentation des ensembles de données secondaires mobilisées. Par ailleurs, ils ont été utilisés pour intégrer, organiser et analyser les données issues de la cartographie participative.

Collecte de données

L'identification et la cartographie des sites d'exploitation minière artisanale et à petite échelle ont été réalisées à l'aide d'outils SIG variés, notamment les logiciels QGIS et MapSource, ainsi que le récepteur GPS Garmin 60 CSX. Les sites d'orpaillage ont été géolocalisés grâce à des relevés des coordonnées géographiques (méridiens et parallèles). Les données collectées à l'aide du GPS ont été téléchargées via le

logiciel MapSource (version 6.16.3), puis transformées dans le système de référence cartographique WGS_1984, projeté sur la zone UTM 29N, à l'aide de l'application MN DNR Garmin (version 6.1.06).

Analyse

Les images satellite classifiées, ainsi que les cartes produites par les acteurs locaux, ont été transférer dans QGIS. Ces données ont ensuite été converties en fichiers shapefiles pour leur intégration et leur analyse dans QGIS (version 3.36.1). Les informations obtenues ont été symbolisées et affichées dans QGIS, permettant la production de cartes thématiques.

En complément des données collectées sur le terrain, des données cartographiques officielles de la République de Guinée ont été intégrées à l'étude. Ces données incluent des informations sur le découpage administratif, la géologie régionale et locale, les réseaux hydrographiques, les infrastructures routières et les failles géologiques. La combinaison des données issues du terrain et des sources officielles a permis de produire les différentes cartes thématiques présentées dans cette étude.

Télédétection

Collecte de données

La télédétection est l'ensemble des techniques/méthodes permettant de mesurer à distance (sans contact) des empreintes électromagnétiques des matériaux de la surface de la Terre, traiter et interpréter ces images et empreintes de la surface de la Terre (Lillesand *et al.*, 2015).

Dans cette étude, nous avons utilisé les données satellitaires de Landsat-8 OLI/TIRS et Landsat 7 ETM+ (Drusch *et al.*, 2012). Le programme Landsat est l'un des plus anciens programmes d'observation de la Terre, ce qui le rend particulièrement adapté à une analyse diachronique sur une longue période (Abass Saley *et al.*, 2021; Obodai *et al.*, 2019; DeWitt *et al.*, 2017; F. D. L. Lobo *et al.*, 2016). Nous nous sommes efforcés de sélectionner des images sans nuages, mais en raison de la persistance de la couverture nuageuse, nous avons sélectionné des images avec une couverture nuageuse allant jusqu'à 5 %. Un masque de nuages et d'ombres a été appliqué en utilisant la bande "qa_pixel". Pour améliorer la précision de la classification, des indices dérivés des bandes spectrales des satellites ont été calculés et incorporés dans les bandes

spectrales originales. Ces indices comprennent l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), l'indice d'eau par différence normalisée (NDWI), l'indice de couleur (CI), l'indice de rougeur (RI), l'indice de sol nu (BSI), l'indice d'accumulation par différence normalisée (NDBI), l'indice de surface d'accumulation normalisée (NBAI), le rapport de bande pour la surface d'accumulation (BRBA) et l'indice de luminosité (BI). Ces indices ont été utilisés pour minimiser les confusions spectrales (Ngom *et al.*, 2022, 2020 ; Nyamekye *et al.*, 2021) entre les différents types de couverture terrestre, tels que les sites miniers, les routes ou les zones dépourvues de végétation. Par ailleurs, des modèles numériques d'élévation (MNE) issus des missions TanDEM-X et Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ont été intégrés pour effectuer une analyse topographique. Les variations d'élévation de la surface terrestre ont permis de localiser les activités minières, tout en aidant à différencier les types d'exploitation (artisanale ou industrielle) (Barenblitt *et al.*, 2021 ; Forkuor *et al.*, 2020).

Analyse

L'ensemble du processus d'acquisition et de traitement des images, ainsi que le calcul des indices, ont été réalisés sur la plateforme Google Earth Engine. Earth Engine est une plateforme basée sur le cloud qui offre un accès gratuit à une vaste base de données régulièrement mise à jour et permet un traitement sans les défis informatiques traditionnels (Gorelick *et al.*, 2017).

Cartographie participative

La cartographie participative est un ensemble d'outils visant à établir un processus de communication avec les populations, afin de mettre en œuvre des projets fondés sur les objectifs, perceptions et connaissances des populations locales. Il s'agit de faire émerger le savoir des populations sur leur territoire, savoir coutumier souvent ignoré. Les domaines d'application sont variés : gestion des terroirs, des ressources, risques naturels, création d'infrastructures ou d'équipements.

Diverses méthodologies de cartographie participative ont été mise en œuvre, allant d'une approche impliquant l'ensemble des villages à des méthodes intégrant les SIG et la télédétection (Chambers, 2006).

Les cartes participatives sont de plusieurs types : carte du village, carte du territoire, carte de l'exploitation d'une famille.

Collecte de données

Les ateliers participatifs ont été menés dans le village de Balato afin de recueillir les différents points de vue et perceptions des participants sur les dynamiques spatiotemporelles de leur territoire. Un ensemble de données provenant de diverses sources, notamment de nos missions antérieures et d'autres référentiels existants, a été collecté afin de préparer et d'optimiser le travail de terrain (Doumbouya *et al.*, 2024). Ces données comprenaient notamment des fichiers shapefile représentant le réseau routier et les principaux cours d'eau de la zone d'étude, ainsi que des points GPS géoréférencés des sites miniers et des plantations relevés lors de nos précédentes campagnes. Par ailleurs, une carte de base actualisée pour l'année 2024 a été générée à partir d'images issues de Google Earth Pro, puis imprimée en couleur sur papier A3 en plusieurs exemplaires afin de faciliter son utilisation sur le terrain. 13 participants (tous des hommes) ont pu être réunis pour les ateliers, sélectionnés en fonction de leur implication actuelle ou passée dans l'activité minière, ainsi que de leur volonté et de leur disponibilité à participer à l'étude. Ils sont mineurs artisanaux ou acteurs institutionnels. Ainsi chaque groupe a produit deux cartes représentant la situation actuelle (2024) et passée (2010).

Analyse

Les cartes dessinées par les participants ont été numérisées et importées dans un logiciel SIG (QGIS version 3.36.1). Un shapefile a été créé pour chaque catégorie d'utilisation et de couverture des terres, en appliquant une symbologie uniforme à chaque entité sur toutes les cartes. Nous avons analysé les différences qualitatives des cartes des participants, notamment dans la composition des types d'utilisation et de couverture terrestre. La composition est le nombre et de types d'utilisation des terres et de la couverture terrestre présents sur les cartes et leurs tailles relatives. Ensuite, le contenu des entretiens a été traité pour affiner l'analyse des différences entre les cartes.

Chapitre IV : Innovations techniques, transformations sociopolitiques et enjeux de formalisation de l'EMAPE en Haute-Guinée

CHAPITRE IV : INNOVATIONS TECHNIQUES, TRANSFORMATIONS SOCIOPOLITIQUES ET ENJEUX DE FORMALISATION DE L'EMAPE EN HAUTE-GUINEE

4.1. Introduction

Pour mémoire, notre travail de recherche a pour objectif de documenter les transformations à l'œuvre avec l'apparition de la mécanisation sur les sites d'orpaillage dans la préfecture de Siguiri, en Haute-Guinée. Une première étape de notre recherche a donc consisté à documenter et analyser les dynamiques socio-politiques induites par la mécanisation. Plus spécifiquement, nous avons cherché à mieux comprendre quels sont les effets de l'introduction des innovations technologiques sur les pratiques d'orpaillage existantes. Quels changements politiques et sociaux a apporté l'adoption de ces nouvelles pratiques ?

Dans ce chapitre, nous exposons les effets de la mécanisation sur les dynamiques sociotechniques du territoire d'étude et leurs impacts sur la gouvernance locale de l'orpaillage. Pour répondre à ces questions et nous appuyer sur un cadre conceptuel pour l'analyse, nous mobilisons le concept de « système sociotechnique » (Geels, 2005, 2004), comme une configuration des régimes de travail de l'orpaillage. L'orpaillage englobe une diversité d'acteurs et de formes d'exploitation qui varient selon les techniques utilisées et les sites d'exploitation. Nous postulons ainsi que les différentes formes d'exploitation artisanale de l'or, qui se succèdent dans le temps, peuvent être considérées comme une succession de régimes sociotechniques relativement stables, dans lequel les différents acteurs utilisent des conventions, normes et routines, ainsi que des techniques anciennes, parfois qualifiées de savoirs et savoir-faire locaux, et ancrées dans un système politique et institutionnel local (D'avignon, 2018; Lanzano & Arnaldi di Balme, 2017; Bolay, 2016b, 2014). A la différence des approches « globales » (à long terme) souvent adoptées pour étudier les transitions (Geels & Schot, 2007), notre analyse s'ancre dans une perspective locale (Geels *et al.,* 2016) visant à objectiver les trajectoires singulières liées à l'introduction de la mécanisation et à la dynamique des acteurs impliqués dans l'exploitation minière artisanale. Pour ce faire, nous nous concentrons sur les interactions sociotechniques entre :

- Les changements sociaux observables à l'échelle d'un système localisé, le *bé* : nous partons du postulat que le *bé* est un indicateur clé de l'évolution de la gouvernance de l'orpaillage en Guinée
- Les innovations techniques introduites sur une courte période de temps, l'orpaillage ayant connu des changements majeurs au cours des dix dernières années en Guinée : nous partons du postulat que dans le contexte de l'orpaillage informel en Haute-Guinée, les innovations technologiques à petite échelle (que nous qualifions d'innovations « à bas-bruit » ou « à faible niveau technologique ») ont plus de chances de perdurer et d'entraîner des transformations importantes, notamment dans l'organisation du travail et le foncier.

4.1.1. Transformations sociales à l'aune du *bé*, système de gouvernance de l'orpaillage essentiel en Haute-Guinée

Pour la compréhension de ces dynamiques sociotechniques, il nous est apparu essentiel de tenir compte du fonctionnement du *bé*. Cette forme d'exploitation de l'or reste la plus répandue en Guinée et peut être considéré comme un marqueur de la gouvernance locale. Nous avons vu au chapitre III que le modèle du *bé* se caractérise par une gouvernance spatialisée impliquant les autorités coutumières. Elle implique les acteurs suivants :

- Les mineurs artisanaux, généralement en équipes mixtes composées d'hommes (pour le creusage) et de femmes (remonte le minerai).
- Le conseil des sages à leur tête le chef du village, choisi le site à exploiter, dicte les règles et les principes d'exploitation.
- Le *tomboloma* mis en place par le conseil des sages, veille à l'application des règles, trace les limites du *bé,* marque les points où les trous seront creusés, établit un plan d'aménagement du site et assure le prélèvement fiscal qui est réinvesti dans des projets à intérêt publique.
- Le *nyado,* choisi par le *tomboloma* au sein de l'organisation des sages, paie le prix du puits au *tomboloma* et, selon ses moyens, apporte un soutien financier aux mineurs.
- *Le kaladjanti*, le mineur le plus expérimenté qui assure l'extraction du minerai.

- Des acteurs supports : au cours de l'opération, l'eau peut noyer les puits ou nécessiter une ventilation. Dans ce cas, les mineurs font appel à des prestataires de services, tels que les propriétaires de motopompes, de ventilateurs, etc. Leur présence sur le site est régulée par le *tomboloma*, auquel ils versent une cotisation.

4.1.2. Transformations techniques à l'aune des innovations à petite échelle

À partir des années 2010, l'orpaillage dans la préfecture de Siguiri, a connu l'introduction de diverses innovations technologiques, notamment des concasseurs, des détecteurs, des marteaux piqueurs et de motopompes dans le processus d'extraction et de traitement de l'or. Depuis 2019, cette évolution s'est poursuivie avec l'utilisation croissante d'engins lourds tels les camions, les excavateurs brouillant davantage la frontière entre artisanat et industrie. Ces innovations s'intègrent dans deux formes d'exploitation minière distinctes, qui ne s'excluent pas nécessairement : l'exploitation par puits et l'exploitation de surface. Nous avons eu à cœur de distinguer les innovations à grande échelle des innovations à petite échelle, pour concentrer notre analyse sur ces dernières.

Des innovations à grande échelle qui échappent à la logique du bé

L'introduction de pelles mécaniques, de concasseurs, d'excavateurs et de camions fait partie d'une chaîne de production plus large associée à l'intensification de l'exploitation minière à ciel ouvert, ouvrant la voie au développement de petites mines informelles à ciel ouvert. Cette exploitation mécanisée à ciel ouvert permet de traiter de grandes quantités de sol extraites des couches superficielles. Elle est réalisée en dehors des espaces du *bé* et de la juridiction du *tomboloma*. Ces exploitations sont principalement situées dans d'anciennes mines artisanales abandonnées où les compétences des *tombolomas* ne sont plus applicables, ce qui les rend accessibles à tous. Cet élément est fondamental, car le contrôle est de plus en plus repris par le bureau de district et les propriétaires fonciers coutumiers, qui ont vu là une occasion de se positionner et de profiter de la rente minière. Nous n'avons pas choisi de nous concentrer sur l'impact de ces innovations

à grande échelle qui échappent aux configurations sociales et institutionnelles locales pour nous concentrer sur les innovations à petite échelle.

Des innovations à petite échelle qui ne sont pas sans conséquence sur la gouvernance locale

De petits outils ont été introduits pour améliorer la productivité. Par exemple, pour surmonter les défis posés par le manque d'oxygène à grande profondeur, les mineurs ont introduit des ventilateurs combinés à de petits *tigers* pour assurer une meilleure ventilation. L'utilisation de concasseurs semi-mécanisés a permis de traiter non seulement des blocs de gravier impossibles à traiter manuellement, mais aussi de grands volumes de minerai d'or à faible teneur. Pour soulever le minerai, une poulie appelée localement *solonin* a également été introduite pour faciliter l'extraction. Enfin, des installations de concassage en centre-ville ont été mises en place pour réduire la roche dure en une fine poudre, qui est ensuite lavée pour récupérer le précieux minerai.

Quels impacts de l'introduction et de la diffusion de ces innovations à petite échelle sur la gouvernance locale du *bé* ? Quels rôles ces innovations à bas bruit ont-elles joué dans le changement de pouvoir qu'a connu Balato ? L'article qui suit a été publié en 2024 dans la revue *Journal of Rural Studies*. Il apporte des premiers éléments d'analyse des dynamiques sociotechniques à l'œuvre suite à la mécanisation de l'EMAPE dans la province de Siguiri.

4.2. Article 1 : Mechanization of artisanal and small-scale gold mining in Guinea: Socio-technical trajectory of a rural mining site in Upper Guinea

Ibrahima Kalil Doumbouya [a], Anna Dessertine [b], Marc Vinches [a], Juliette Cerceau [a]

[a] *Hydrosciences Montpellier, Univ Montpellier, IMT Mines Ales, IRD, CNRS, Ales, France – 6 avenue Clavières, 30 319 Alès Cedex, France.*

[b] *Institut Supérieur des Mines et Géologie de Boké, BP 84 Boké, République de Guinée.*

[c] *IRD-UMR PRODIG, Aubervilliers, France/Institut National d'Aménagement et d'Urbanisme (INAU), Rabat, Maroc*



Outline

Highlights

Abstract

Keywords

1. Introduction: technical innovations and socio-...

2. Case study: Balato district, Kintinian sub-prefe...

3. Minor technical innovations, major socio-econ...

4. Discussion

5. Conclusion

CRediT authorship contribution statement

Acknowledgements

Data availability

References

Show full outline

ELSEVIER

Journal of Rural Studies

Volume 112, December 2024, 103445

Mechanization of artisanal and small-scale gold mining in Guinea: Socio-technical trajectory of a rural mining site in Upper Guinea

Ibrahima Kalil Doumbouya [a], Anna Dessertine [b], Marc Vinches [a], Juliette Cerceau [a]

Show more

Add to Mendeley Share Cite

https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2024.103445

Get rights and content

Under a Creative Commons license

Open access

Figure 9 : Entête de l'article publié

Abstract

Since the beginning of the 21st century, artisanal and small-scale gold mining (ASGM) in West Africa has undergone intensification and significant development due to the introduction of increasingly mechanized extraction and processing method. Mechanization generates significant transformations in the socio-technical dynamics of artisanal gold mining. In the specific context of ASGM in Upper Guinea, the article argues that small-scale innovations (ie. 'low noise' or 'low technological level' innovations) are leading to a profound socio-economic transformation of the rural environment over a long period of time. We begin by describing and analyzing the impact of the introduction of minor innovations (metal detectors, solonins and fan motors) on ASGM practices. We then examine the political, social and economic changes brought about by the adoption of these new mechanized practices, again at the rural level. Finally, we discuss the transition toward a new socio-technical regime, questioning the reshaping of local governance and its impact on new configurations of land ownership and use in rural areas.

Keywords

ASGM; Upper Guinea; mechanization; Governance; Socio-technical systems

4.2.1. Introduction: technical innovations and socio-economic reconfigurations of ASGM practices in Guinea

Since the beginning of the 21st century, the gold mining industry in Guinea has expanded immensely, from small-scale artisanal to industrial operations.1 Industrial mining has been largely stimulated by significant foreign investment, made possible by successive reforms of the Mining Code, the latest dating from 2011 and amended in 2013, initiated under the aegis of international financial institutions (Campbell and Hatcher, 2019). Artisanal and small-scale gold mining (ASGM) also intensified and expanded considerably following the rise in the price of gold, with two periods of strong growth between 2008 and 2012, and again between 2018 and 2020. This intensification is reflected in a significant increase in artisanal gold exports. In 2013, artisanal gold exports amounted to around 5 tons, whereas this number reached 83 tons in 2021 (MMG, 2022; Gouvernement, 2012), exceeding industrial production, which stood at 17.8 tons in the same year.2

This intensification, accompanied by the introduction of increasingly mechanized methods of gold extraction and processing, has not only boosted productivity but also transformed the socio-technical dynamics of ASGM. This article aims to report on these transformations and their political, social, and economic effects in rural Upper Guinea, where this activity is concentrated.

ASGM in Upper Guinea

In this area, the tradition of ASGM spans centuries and holds a pivotal position in the local economy. Notably, the historic localities of Bouré and Séké were instrumental in shaping medieval African empires. Throughout history, artisanal miners in these regions employed basic tools and techniques, as highlighted by Diallo (2017), to extract and process gold ore. These are generally buckets, picks, chisels, hammers, and calabashes. These tools are locally manufactured, and their acquisition and maintenance do not require substantial expenditure. What's more, the sites are accessible to all, regardless of origin or level of technical expertise, which differs from active industrial extraction sites, governed by legalized permits and where only officially authorized companies can operate. Despite the open accessibility to ASGM sites, all excavation activities and transactions among different stakeholders remain under the jurisdiction of customary authorities. These authorities adhere to a defined set of norms, principles, and practices, well-documented in literature by (Lanzano and Arnaldi di Balme, 2017; Bolay, 2016; Dessertine, 2016). This adherence establishes a stable socio-technical regime (Geels & Kemp, 2007; F. W. Geels, 2004).

The livelihoods of several thousand individuals are directly or indirectly linked to ASGM, (Dessertine and Noûs, 2021; Huntington and Marple-Cantrell, 2021; Bolay, 2016; Seccatore *et al.*, 2014). The discovery of a promising deposit arouses the interest of other populations, attracting them to mining areas, which are often located in rural regions. Historically, farmers have been the first to get involved outside of professional gold miners, as the two sectors are linked by various complementary as well as competitive relationships (Hilson & Garforth, 2013; Cartier & Bürge, 2011; Hilson, 2011; Kamlongera, 2011; Okoh & Hilson, 2011). However, in recent years, ASGM has attracted other stakeholders with more diversified profiles (Mkodzongi & Spiegel, 2020), such as unemployed graduates.

Over recent decades, ASGM has undergone significant transformations, evolving from a predominantly artisanal (done manually) activity, characterized by low levels of mechanization (Shen and Gunson, 2006), to the gradual adoption of more advanced technologies (Bansah *et al.,* 2016; Teschner, 2014). This evolution presents opportunities for transition towards formalization of the activity (Sawadogo & Da†, 2021; Siegel & Veiga, 2009). However, as in many other contexts, formalization policies remain ill-adapted and difficult to apply in this region (Dessertine *et al.*, 2023).

Mechanization and socio-economic transformations

Since the 2010s, ASGM has seen a series of technical innovations in ore extraction and processing practices. In Ghana, for example, the introduction of crushers - known locally as Changfa - by Chinese migrants, has enabled the processing of a significant quantity of low-grade ore (Agyei, 2016; Bansah *et al.*, 2016). In Burkina Faso, the use of cyanide has made it possible to re-mineralize tailings from artisanal processing (Lanzano and Arnaldi di Balme, 2021; Verbrugge *et al.,* 2021; Ouédraogo, 2020) In the DRC, the use of ball mills has reduced investment costs, playing a crucial role in improving the productivity of operations (Bikubanya and Radley, 2022). Lastly, in Guinea, as early as 2012, the introduction of metal detectors considerably improved gold miners' incomes, enabling them to exploit shallow deposits and move rapidly between gold mining sites without establishing permanent residency (Dessertine, 2016). The assembly of these technical innovations constitutes innovation pathways and trajectories that gain to be considered. Focusing on Sierra Leone and Liberia, Hilson and Maconachie (2020) documented two types of trajectories guiding the innovative evolution of the informal ASM sector: on the one hand, that of a burgeoning semi-formal artisanal group with limited capacity to mechanize, and on the other hand, that of a small number of individuals who have managed to overcome crippling financial barriers to secure titles to mine using more advanced technology. More recently, Ekow (2024) proposes a conceptual framework to unravel innovation trajectories in the African ASM sector highlighting resilience as a main driver.

Primarily informal in nature, the mechanization of ASGM, as one kind of innovation trajectory, has raised concerns among authorities, due to the profound socio-economic transformations it creates, already

extensively documented in scientific literature. From an economic standpoint, these changes shift ASGM from a subsistence activity, as discussed by Hilson and Garforth (2012), to a more profit-oriented venture, as highlighted by (Cortés-McPherson, 2019). These innovations also enable gold miners to exploit richer deposits, creating direct competition with industrial operations (Lanzano and Arnaldi di Balme, 2017; Bolay, 2014; Hilson, 2011). Sociologically, it is becoming increasingly clear that the current trajectory towards mechanized ASGM is accompanied by the emergence of modes of labor relations. On the one hand, these labor relations are described as being marked by growing inequalities, sparking conflicts over resources and fostering a more exclusive interpretation of property (Gagnol *et al.*, 2020; Ribot & Peluso, 2003). These reconfigurations notably result, in particular, in the exclusion of women (Lanzano and Arnaldi di Balme, 2021; Ouédraogo, 2020), the devaluation of the value of their work (Bikubanya and Radley, 2022), and their impoverishment (Conteh & Maconachie, 2021). On the other hand, (Rushemuka & Côte, 2024), recently proposed to consider the evolution of ASM labor regime, (ie. a set of social relations resulting from local networks and politics, technological production choices, commercial demands) as means to escape from the dissonance between formalization policies and the inner dynamics of the ASM sector. They thus suggest that formalization may not be the most effective analytical starting point for understanding ASM challenges and that a deeper understanding of ASM labor dynamics is needed.

State of the art: reconfiguring a stable socio-technical regime

We use the concept of the 'sociotechnical system', as an aspect of ASM labor regimes, to analyze current developments in ASGM associated with the introduction of mechanized practices. Work on transitions from one socio-technical system to another has received particular attention from researchers in recent years. The first studies devoted to socio-technical transitions, notably by (Rip & Kemp, 1997) and (F. W. Geels, 2005, 2004), highlighted the crucial importance of adopting a multi-level perspective. According to them, the transition from one socio-technical regime to another can manifest itself through various transition trajectories, notably intermediate ones, such as reconfiguration (F. W. Geels, 2006) (Geels, 2006). In this intermediate transition trajectory, it is the adoption of multiple symbiotic innovations that initiates the transition from one socio-technical regime to another. In this case, the transition dynamic is not based on a

process of substitution, but on the accumulation of numerous small changes over time, which ultimately leads to major reconfigurations. We consider that the current changes in ASGM at Balato are part of such a process.

In addition, beyond the 'global' (long-term) approaches often adopted to study transitions (Geels and Schot, 2007), our analysis is anchored in a local perspective (Geels *et al.*, 2016) aimed at objectifying the singular trajectories linked to the introduction of mechanization and the dynamics of the actors involved in artisanal mining. We focus on changes that can be observed over a short period of time, as ASGM has undergone major changes over the past decade in Guinea.

According to the 2011 Guinean Mining Code, amended in 2013, ASGM is defined as "any exploitation whose activities consist of extracting and concentrating mining substances and recovering the marketable products by manual and traditional methods and processes". Beyond this legal definition, ASGM actually encompasses a diversity of actors and forms of exploitation that vary according to the techniques used and the exploitation sites. We postulate here that artisanal gold mining can be considered a relatively stable socio-technical regime, in which the various actors use conventions, norms and routines and ancient techniques sometimes described as local knowledge and know-how, and anchored in a local political and institutional system (D'avignon, 2018; Lanzano and Arnaldi di Balme, 2017; Bolay, 2016, 2014). This form of gold mining remains the most widespread. Even if national law does not recognize this local governance, the introduction of new mechanized techniques does not seem to have replaced artisanal extraction techniques or completely challenged the artisanal socio-technical regime.

The question of transition therefore remains, and the aim of this article is to reveal the logic behind it by examining it in the light of more intermediate processes such as reconfigurations. We postulate that these smaller-scale innovations, which we describe as "low-noise", are more likely to persist and lead to significant transformations, particularly in work organization and land tenure. Although formalization policies have been developed by the state (e.g., gold panning corridors), they remain largely unapplied (Dessertine *et al.*, 2023). Paradoxically, while we remain in the informal realm, we will see that

mechanization leads to forms of land privatization - which we will define - and to more capital-intensive modes of work that are close to the formal logics advocated by the state. While it has already been shown in this region that gold mining can help to impose forms of state rationality (Dessertine and Noûs, 2021), we find a similar process in gold panning, but no longer according to a logic of "discharge", where the state appears to discharge its prerogatives following processes of privatization (Hibou, 1998).

In particular, we will show how, on the one hand, mechanization is an opportunity to position certain socio-economic stakeholders in the local governance of the sector and, on the other, how the socio-economic transformations induced by this mechanization are based less on major changes than on the accumulation of minor changes. In doing so, we wish to nuance the commonly held idea of a poverty driven fatality of ASM individual and collective trajectories condemned to illegality and criminality. (Bester, 2023) has demonstrated that criminalizing and policing the artisanal mining sector is counterproductive and unsustainable. As (Hilson & Hu, 2022) have shown, ASM livelihood trajectories are complex and hybrid. They demand to better consider the agencies and capabilities of ASM workers on the evolution of ASM territorial dynamics and to reconceptualize ASM as an entrepreneurial and community activity (Arthur-Holmes & Abrefa Busia, 2022; Hilson & Maconachie, 2020a).

In the next section, we present the case study and our methods. Section 3 then presents the technical innovations and socio-economic reconfigurations. Finally, section 4 suggests avenues for discussion on the reconfigurations brought about by this small-scale mechanization, focusing on issues of social change, the repositioning of public authority in a non-formalized farming sector, and the increasingly central role of land ownership.

4. 2.2. Case study: Balato district, Kintinian sub-prefecture, Guinea

Our work is founded on a case study in the Balato district, within the Kintinian sub-prefecture, located 20 km northwest of downtown Siguiri. It is based on data collected during field expeditions carried out between April and June 2022, and between February and March 2023. Several types of data were collected: 23

interviews were conducted with gold miners, members of the local population, and local authorities with a link to ASGM activity, including customary authorities, administrative authorities (notably the mayor's office and the prefecture) and local government representatives. These interviews enabled us to collect data on local mining governance and working relationships between the various stakeholders involved.

Moreover, during our extended five-month stay on-site, we systematically gathered ongoing and consistent observations of operational procedures, encompassing techniques, work organization, and relationships. Additionally, we documented informal day-to-day discussions to provide a comprehensive overview of the dynamics at play in the local context.

Long-term artisanal gold mining

The sub-prefecture of Kintinian and the surrounding villages correspond to the location of the ancient Bouré region, where according to our interviews, Balato was the first village to be founded. For this reason, the area is commonly referred to as “Bouré-Balato”. The history of this region is deeply intertwined with gold mining, which constitutes an important part of the local identity. ASGM remains the main activity of the inhabitants, and agriculture is underdeveloped, with the exception of cashew plantations, which tend to expand.

Notably, the renown of this region for its gold wealth dates back to the 3rd century, under the Soninké empire (Watts, 2010). The Bouré area has been mined almost continuously since the 12th century, playing a significant role in the political and economic history of medieval West African empires (Mbodj, 2011). In 1892, fell under the French Protectorate, displacing Samory Touré, partially facilitated by the “customary law” agreement related to gold mining (D'avignon, 2018). Throughout the interwar period, gold production experienced a significant surge, contributing to 29% of Guinean exports (Trentadue, 1976). Despite endeavours to industrialize gold mining, it remained artisanal in nature until the post-independence period (D'avignon, 2018), marked from the 1990s onwards by the growing establishment of industrial mining companies such as SAG, Société Aurifère de Guinée.

Prior to the intensification of artisanal activity in the early 2000s, gold mining operated on a primarily seasonal basis, synchronized with the agricultural calendar and taking place during the dry season (Bolay, 2016; Dessertine, 2016) Only women could extend their stay on site for a few extra months, allowing them to support their families during difficult periods (Luning *et al.,* 2014). This seasonal farming system not only attracted agricultural labor from surrounding regions (Bolay, 2016), but also played a role in safeguarding local mineral resources from swift depletion. At this time, gold mining was conducted on a relatively modest scale, focusing on shallow secondary alluvial deposits.

It seems important, at this stage of the site description, to insist on the fact that most of the ASGM activity is carried out in alluvial deposits. Two distinct types of exploitation can be found: either in massive metamorphic rock (birimian green rock), or in less consolidated alluvial deposits (Sangaré *et al.,* 2014). In the case of the massive metamorphic rock deposits, it is necessary to follow lodes with high gold grades. In this case, the rocky ore must be reduced in size using primary crushers, then finely crushed to separate the native gold from the attle. This requires human expertise (observation skills and experience) to follow the lode, eventually underground. This mining process usually involves the use of explosives, or sharp and strong steel tools which are not cheap; It is human energy intensive first to sink the shafts, then to follow the lodes and extract the rock containing the native gold. In the Balato area, this mining process using explosives is not used. The second type of exploitation concerns weakly consolidated alluvial deposits, or secondary deposits. Concerning these deposits, from a mining process point of view, one can make a separation between surface exploitation, and underground exploitation. Concerning surface exploitation, ASGM does not require deep excavation. In the surface deposits, mechanization can be present quite often with mechanical shovels and trucks to recover material from alluvial strata (particularly on sites already mined manually) to supply the crushers. The gold content is not very high, so processing a large quantity would allow a gain. The use of metal detectors is generally attached to surface deposits. The metal detectors are not used for the gold extraction over 1,5 m depth. If the alluvial deposits are found at depths of around 10 m deep, an underground exploitation can be performed to avoid the cost and pain to take away the

overburden, i.e. the surface level that can be considered as a waste product, above the level with a high enough gold grade. When the sediments have been removed, the mineralized layer can be recognized by experienced miners, the kaladjantis, and a drift can be opened. This type of mining requires a much more complex organization than open-pit mining.

Local spatial effects of a local activity

In Balato, as in other localities in the region, ASGM is a local activity. As shown in Fig. 9, lode mining (pits), surface mining (using shovels and detectors) and washing sites (ore processing) mainly follow the eastern flank of the settlements, and are more marginally located a little further south.

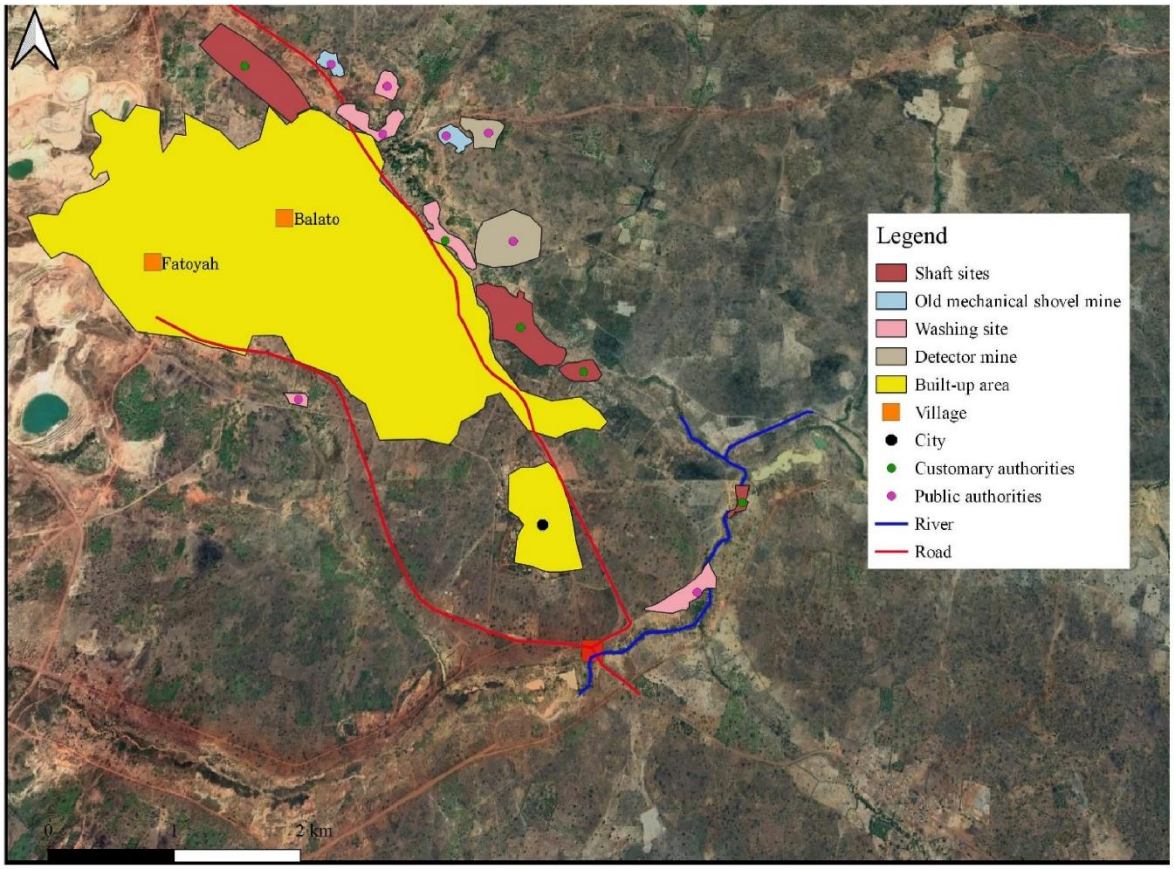


Figure 10 : Presentation of the study area and various activities.

The map also indicates that the Balato district is home to the SAG (Société Aurifère de Guinée) housing estate, where some of the employees of the industrial mine operating in the vicinity of the locality are housed, and from which we can make out some of the retention basins to the west of the dwellings. The important presence of this mining company will not be considered within this work, although it should be

noted that it increases the pressure on gold resources, accelerates the rhythm of its extractions and regularly gives rise to sometimes violent conflicts with gold miners and local populations, already discussed in other works (Dessertine & Noûs, 2021; Dessertine, 2019; Bolay, 2014). We will focus here on so-called informal or clandestine ASGM, sometimes tolerated by the authorities, other times severely repressed, as was the case during major eviction missions carried out by state authorities between 2015 and 2016.

As in many other areas, ASGM has significantly influenced the demographic growth of Balato, with the local population estimated at 30,000 inhabitants in 2020 according to the president of the district office. Despite this demographic surge, Balato's organization still adheres to principles commonly observed in rural Malinké villages. The Malinké constitute the primary population in this region, ranking among the three largest ethnic groups in Guinea, alongside the Peul and Soussous. From this perspective, what is occurring is more accurately described as rural spatial expansion rather than conventional urbanization.

The locality is under the local authority of the Camara family, considered as the founding lineage of the locality, as the first arrivals. Over the years, they have authorized the installation of newcomers, the first of whom head four kabilas, a term sometimes translated as “neighborhood”, and sometimes as “clan”. Certain rights are delegated to these kabilas, notably in the land domain: a new arrival will therefore first go before the head of the kabila to apply for land under his or her (customary) jurisdiction; only in the last instance will a dispute require the intervention of the village chief, a member of the founding Camara family. The chiefs of these kabilas and the village chief are the eldest men in their lineage and, along with the chiefs of the various residences, make up the council of elders. The council also includes women and youth representatives, headed by a president and a chairman respectively. These collectives form the backbone of local customary governance in rural areas and, in the mining context, are accompanied by another institution: the tomboloma.

Local customary mining governance

The historical practice of ASGM in Bouré is characterized by the exploitation of secondary deposits, i.e. shallow alluvial and eluvial deposits, where gold is found in the form of nuggets or flakes within the gravel.

With a degree of autonomy that allows them to organize themselves into groups, artisanal miners generally work in mixed teams of between 5 and 15 people, made up of both men and women, within the boundaries of a specific area known locally as bè. Extraction is strictly organized and regulated by local norms, with designated areas for digging, where each shaft is allocated to a group, and the surrounding area is reserved for related activities such as ore washing, and trading.

The operation is being carried out in two phases. The first involves removing the layer of overburden, a layer of less consolidated sediment some 7–12 m thick above the mineralized gravel, with eventual support of the shaft, in mechanically weak zones. This support, made of timber, leads to the exploitation of forest wood. A team of four diggers, assisted by a nyado, use small picks to dig, while the sterile earth is brought up in buckets by women. The nyado, chosen by the tomboloma from the elders' organization, pays the price of the shaft to the tomboloma and, depending on his means, provides financial support to the diggers. The second phase involves extracting the mineralized gravel, which varies in thickness from 0.5 to 0.8 m on average, and rarely exceeds 1.5 m, requiring special expertise. It need to be able to follow underground, with poor lighting, and based on observation and experience, the layers, or veins, most likely to have a high gold grade. The sedimentary ore is then to be extracted from the underground rich vein or layer, transported back to the shaft, then up to the surface, using solonins – a type of pulley. This operation is therefore carried out by a specialized member of the team, called a kaladjanti, the most experienced of the initial digging team. During the operation, water may drown the shafts or it may need to be ventilated. In such cases, the miners call on service providers, such as the owners of motor pumps, fans and so on. Their presence on the site is regulated by the tomboloma, to which they pay a contribution.

The site remains under the customary jurisdiction of the village to which it belongs. It is reconfigured according to the mobility of gold miners, both nationals and those from neighboring countries. This mode of exploitation is also characterized by seasonal mobility, but this intensified and expanded alongside the increase in gold prices in the 2000s, giving rise to forms of professionalization of the activity (Bolay, 2016; Dessertine, 2016). Historically, therefore, the bè model has prevailed, whose regulatory principles make it

possible to guarantee both activity and open access to the resource, while the reliance on centralized regulation, combined with informal fiscal mechanisms applied to each transaction, makes it possible to promote collective investments at the village level (Lanzano and Arnaldi di Balme, 2017), such as the construction of boreholes, the supply of electricity through generators.

ASGM, as practiced in the Bouré region, is not governed by state legislation, but by a system of governance established and controlled by customary authorities. The damanfèti or "mine chief" supported by the organization of elders, plays a role in designating mining sites, setting the mining schedule, and drawing up the principles regulating the activity. The institution of the tomboloma, sometimes associated with self-defense groups (Grätz, 2007), puts into practice the principles laid down by the damanfèti and the elders. Panella (2007) explains that before mining intensified in the 1980s, their main role was to protect the village from thieves. Over time, their responsibilities have expanded. On the instructions of the village, the tomboloma draws the boundaries of the bè, marks the points where the holes will be dug, and draws up a site development plan (Lanzano et Di Balme, 2017). They act as true corporations, regulating, mediating, and sanctioning all matters related to gold extraction and life in the camps. The tomboloma hold regular assemblies and impose penalties for violations of village laws, including theft and murder, often in collaboration with the security and defense forces on site (Dessertine and Noûs, 2021). One of their most challenging tasks is preventing miners from tunneling horizontally into other mine shafts to avoid cave-ins. This regulation requires them to be experienced miners who can intervene in critical situations. Fig. 10 details and characterizes the customary relationships between stakeholders, including the new relationships resulting from the introduction of small mechanized tools, in particular the solonin, fan motor, and motor pump, which we will describe in the following section. These include the gold panners, the village chief and the tomboloma, but also the kalandjanti or "chief of the long pickaxe", who is the most experienced miner in the working group, and the nyado, the "owner of the well".

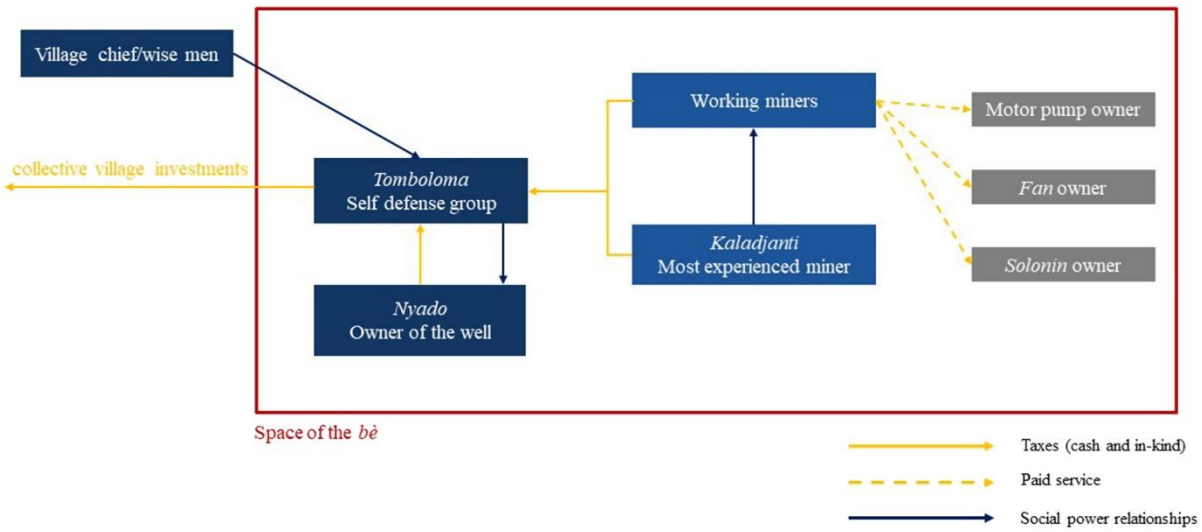


Figure 11 : Sociotechnical dynamics of ASGM in a mechanized context before 2019.

The diagram in Fig. 10 shows that in the case of these small mechanized tools, the central institution remains the tomboloma. This can be explained by the fact that these tools complement, but do not completely replace, artisanal extraction techniques. We will now explore additional innovations that have facilitated the emergence of new practices, while highlighting that these may not be the ones responsible for the most profound changes.

4.2.3. Minor technical innovations, major socio-economic reconfigurations

Since the mid-2000s, the Kintinian sub-prefecture has seen the arrival of a series of technical innovations of varying scope (Fig. 11). These innovations need to be integrated into two different, but not necessarily exclusive, forms of mining. The first is lode mining, in which innovations complement more artisanal techniques: motor-driven pumps are used to empty water from shafts, solonins make work easier, and fan motors ventilate the interior of galleries. Metal detectors can also be used for prospecting inside shafts. But they are mainly used as a surface prospecting and mining tools. This is the second type of mining that is currently being developed. This is demonstrated by the increasingly massive introduction of crushers, which allow large volumes of soil to be processed. This surface mining is outside the space jurisdiction of the tomboloma, the bè, and gives new stakeholders the opportunity to control access to and management of the resource and, ultimately, to profit from the mining rent. This section describes the gradual and conflicting emergence of new stakeholders in the governance of mechanized methods, particularly deconcentrated

government services and customary landowners, and how they sometimes compete with the tomboloma. The development of mechanized ASGM has indeed led to a repositioning of public authorities in the local governance of an illegal activity. We show that, while this activity was stimulated by the introduction of large-scale machines such as mechanical shovels and trucks, it is in fact via the smallest tools that it has been perpetuated. We distinguish three technical circuits to analyze the changing positioning of local authorities and their competition for mining rents. These circuits concern firstly crushers (Fig. 12), excavators and trucks (3.1), then metal detectors (3.2) and finally small tools such as fan motors and solonins (3.3). We will show that, while these last minor innovations tend to fit into the bè model, the same cannot be said for crushers and metal detectors. These two techniques will be treated separately because they do not challenge the bè model in the same way. While detectors are associated with a high degree of mobility, which prevents tombolomas from carrying out in situ taxation, crushers are deployed in areas that are either abandoned or not yet exploited, and from which other actors try to impose their own rules of informal mining taxation. The aim here is to analyze the resulting tensions and competition around this new mining rent.

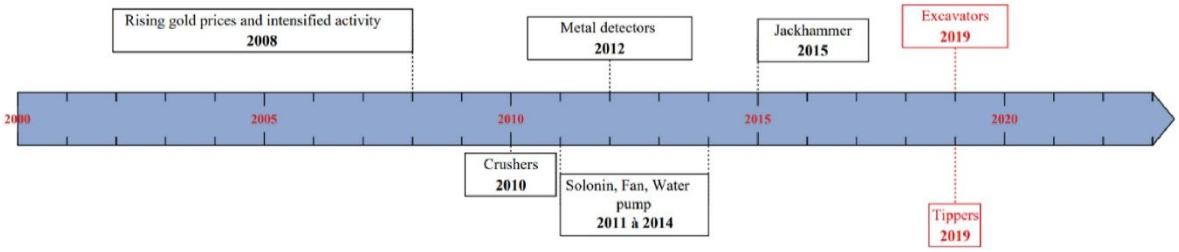


Figure 12 : Timeline of technical innovations (in red, major technical innovations; in black, minor technical innovations). (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)



Figure 13 : crusher used to process low-grade ore.

The conflicting disappearance of excavators and trucks and the persistence of crushers

The introduction of mechanical shovels, crushers and trucks is part of a wider chain of production associated with the intensification of surface mining, paving the way for the development of small informal open-pit mines. This mechanized surface mining allows the processing of large quantities of soil extracted from the surface layers. It is carried out outside the spaces of bè and the jurisdiction of tomboloma.

These operations are mainly located in old, abandoned artisanal mines where the skills of the tombolomas are no longer applicable, making them accessible to all. This element is fundamental, since control is increasingly being taken over by the district office and the customary landowners, who have seen this as an opportunity to position themselves and profit from the mining rent. These new mining methods – in particular excavators and trucks – required considerable investment, amounting to several thousand euros, a sum that gold miners generally could not afford. They are not part of the knowledge and know-how that circulates between gold miners in times of transnational mobility, as is the case, for example, with Burkinabe well mining techniques (Lanzano and Arnaldi di Balme, 2017). They were rather driven by the adjacent presence of the Société Aurifère de Guinée (SAG). In Balato, investors – sometimes employees of the mining company, but also civil servants or well-connected gold buyers – began leasing mechanical

shovels for sums ranging from 5 to 6 million GNF per day, and looking for the most profitable sites. At the time of our survey, the excavators and trucks were already gone - we'll come back to this below - so the figures we were given are subject to some reservation. According to our sources, taxation amounted to 200,000 GNF/day for the site's landowner and 200,000 GNF/day for the district office. The trucks, now under the ownership of investors, went directly to the crusher or shovel sites to buy the ore during loading (Fig. 4). In Balato, the value of the truck's cargo varied between 800,000 and 1,200,000 GNF per load, contingent on the estimated ore grade, and the type of truck, whether it was a "6 or 10-wheeler". Only the district office taxed the use of these machines, charging 50,000 GNF per day.

Thus, a genuine local mining governance parallel to the customary one was put in place following the introduction of these innovations. However, their spread was quickly curtailed a few months after their introduction in 2019. Primarily, due to the fact that they are not only expensive, but also particularly visible, prompting state authorities to ban them more radically. Conversely, informal activities that are not capital-intensive, perceived as subsistence activities and whose exploitation does not compete with the limits of deeper or broader (semi-) industrial exploitation, are more easily tolerated by the authorities. Furthermore, in Balato in particular, these new taxation channels have led to major conflicts between local players, with the district office increasingly gaining access to the biggest slice of the mining rent cake. Following recurrent conflicts, the council of elders and customary authorities decided to ban the use of big machines, such as excavators and trucks.

However, this form of parallel governance did not end with the disappearance of these machines, since it did not call into question the functioning of the surface mining chain. It does have an impact on the amount of soil processed, but the continued presence of crushers is all that's needed for this type of operation to continue.

The case of metal detectors: the reconfiguration of local powers under strain

Since the 2010s, as in the rest of West Africa and Guinea, the arrival of metal detectors has made it possible to mine gold at relatively shallow depths, ranging from a few centimeters to 2 m (Fig. 13).



Figure 14 : Gold prospectors testing the surface the ore with the detector, 2022. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

This technique involves significant mobility on the part of gold seekers, who frequently travel long distances in search of richer deposits (Dessertine, 2016). Unlike mining in the bè, these new methods do not require extended spatial fixation, thereby avoiding the oversight of the tomboloma in selecting locations. While mining in the bè can last for several weeks or months, gold miners using detectors can cover multiple sites in a single day. Due to their frequent movements between sites and villages, customary authorities find it impossible to exert control over these gold miners. Numerous testimonies also suggest that the tomboloma's historical skills were intricately linked to the organization of the bè, and have been surpassed by the advent of this new technique. This shift has paved the way for other entities, notably the youth organization6 and the district office, to position themselves in local mining governance.

The youth office is tasked with field collection, operating under the supervision of the commune, to which it reports after completion. With the introduction of metal detectors granting new authority, the district office, in cooperation with the youth office, has initiated the imposition of taxes on crushers and metal detectors. Funds from these collections have enabled the construction of a number of public infrastructures in the village, including schools, a guest house and the headquarters of the sub-prefecture. Mechanization

has thus led to a repositioning of public authorities at local level, where they had previously had little or no involvement.

However, after the period of massive influx of metal detectors, which began in 2012 and continued until around 2015, combined with the disappearance of the use of mechanical shovels, the district office's sources of funding dwindled. Only the crushers, now installed just about everywhere, remain in operation. Meanwhile, the wells in the bè continue to attract gold seekers. In fact, Balato remains one of the few sites we visited in the Bouré area to which artisanal gold miners still come, despite the scarcity of gold in recent years.

In the following section, we discuss how this involvement of local authorities in the governance of ASGM appears to be a step towards total control of the sector by local public authorities.

The case of other small tools (fan motors and solonins): setting up specific commissions to transform practices

Since 2010, small tools have been introduced to improve productivity. For example, to overcome the challenges posed by the lack of oxygen at great depths, miners have introduced fan motors combined with small tigers to provide better ventilation. The use of semi-mechanized crushers made it possible to process not only gravel blocks that could not be processed manually, but also large volumes of low-grade gold ore. To raise the ore, a pulley known locally as a solonin was also introduced to facilitate extraction. Finally, downtown crushing plants were set up to reduce the hard rock to a fine powder, which is then washed to recover the precious ore.

Following the decline in the use of the more imposing equipment, the district office expressed its desire to also take over tax collection in the bè, accusing the tomboloma of embezzlement. This accusation is to be taken seriously, as gold mining revenues destined for this institution are supposed to serve the common interest (Lanzano and Di Balme, 2017). A conflict then broke out within the village. Initially, the customary authorities did not support the district office. However, its members eventually managed to convince the council of elders by highlighting the small tools used in the bè, such as the solonin and fan motor (Fig. 14).

With the support of the wise men, other members joined the board. Subsequently, commissions were formed to collect taxes according to the tools used. Thus, there is a commission dedicated to solonins, a commission for fan engines, a commission for motor pumps and a commission for crushers.



Figure 15 : a) Solonin, manual devise to lift the ore and b) fan, devise for ventilating the mining shaft

The intervention of the district office in the bè led to adjustments in the organization of work. On the one hand, diggers have lost the freedom to choose their solonins, motorized pumps and fan motors for their wells, and the owners of these tools have also faced tax increases. In this new configuration, when a new bè is opened, the tomboloma proceeds with the distribution of wells as before. When the diggers start digging, the owners of solonins, fans and motor pumps register with the district office, whose members then pass through the bè to allocate a solonins and fan motors to each new well. At the time of the survey, the tax paid by each owner was set at 70,000 GNF. A motor pump is also allocated to each well to extract water, and the well owner was then required to pay 150,000 GNF to the district office.

This growing involvement of the district office in local taxation has weakened the tomboloma. Its members have had no option but to rely on money from quotas imposed following conflicts and the weekly roadblocks they erect for women and street vendors.

By controlling tax collection in the bè at the expense of the tombolomas, the governance of ASGM has undergone a reconfiguration, shifting some of the tombolomas' prerogatives to the district office. The

tombolomas' loss of power, and the district office's decisions to increase its workforce and take over the distribution of solonins, fans and motorized pumps, are having an impact on the way gold miners choose their working methods (Fig. 15).

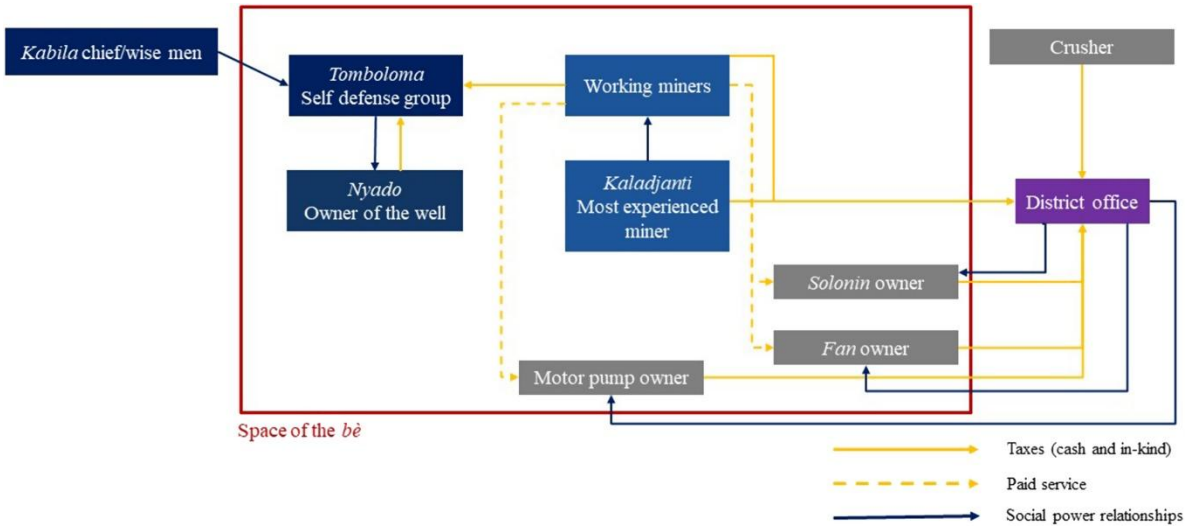


Figure 16 : Sociotechnical dynamics of ASGM in a mechanized context after 2019.

The introduction of new technologies is therefore deeply embedded in the sociotechnical contexts. They occur through incremental changes by a series of small challenges to what is accepted as true, correct, just and legitimate as Carvalho et al. (2017) discussed, innovation is a social interactive learning process which is the result of a social construct that interacts with environmental institutions and processes, creating new currents of thought based on environmental pressures. The sustainability of this small innovations in the production chain depends on their capacity to cope with pre-existing sociotechnical conditions and to foster stable sociotechnical reconfigurations. We can suppose that these new technologies are progressively institutionalized, through mechanisms of diffusion among the ASM communities, the local context is crucial to the extent to which practices are institutionalized by actors who agree to adhere to them, conform to standards and follow rules, more or less passively, without questioning them. Further long-term research work is needed to document and analyze these institutional dynamics at work, in order to better explain how institutions, play a role in dynamic developments, rather than explaining inertia and stability (Geels, 2004).

4.2.4. Discussion

ASGM is generally associated with the use of simple techniques and an abundant but unskilled workforce (Hilson, 2009). It has long been associated with a largely unmechanized activity, requiring modest investment and focusing on the exploitation of primary or secondary deposits with a high level of risk (Shen and Gunson, 2006; Hilson, 2002) Its definition must also take into account its legal or illegal, formal or informal status (D'avignon, 2018). According to the 2011 Guinean Mining Code, amended in 2013, ASGM is defined as "any operation whose activities consist of extracting and concentrating mineral substances and recovering marketable products by manual and traditional methods and processes". This single artisanal characterization seems to be becoming obsolete in light of the increase in mechanized techniques. To what kind of trajectory does this mechanization refer? On what principles is it based? How does it transform the relationship to work and to the land?

Accumulation or substitution of small technical innovations?

Although gold extraction and processing practices are becoming increasingly mechanized, we do not consider that Balato has entered into a technical transition process as such. Indeed, for transition to occur, there must be a process of substitution (not necessarily linear or unilateral) (Geels and Kemp, 2007). In our view, the current technical progression of artisanal ASGM on the site in question is the result of an accumulation of small innovations, rather than a radical technical substitution.

Since the introduction of the first technical innovations around 2010, we have seen a cumulative process whereby new mechanized tools are constantly being integrated into the previous artisanal system. These tools are now more widely integrated into the gold mining chain, with crushing, for example, reducing lode rock to powder more quickly than by hand, and sensors speeding up lode prospecting. It's not uncommon these days to see gold miners going down into shafts with a detector to identify the presence of a lode, rather than just doing a surface search. Mechanized tools thus complement the artisanal technical system, without calling it into question, but rather improving its productivity: mining can be carried out at greater depths or over larger areas, the work is less tiring, the "waste" from artisanal mining becomes a potential

resource thanks to cyanidation, and so on. In addition to enabling technical improvements, the most widely used tools are simple to use and therefore relatively accessible.

However, while some of these new techniques represent a technical improvement also in surface mining (and so differ in this respect from industrial mining), they require greater investment than artisanal mining alone. Whether we're talking about the use of small machines or larger-scale machinery, the acquisition of such equipment requires investments often estimated at several thousand dollars. This capital intensification poses several limitations.

Firstly, it leads to the emergence of new players and encourages the development of more asymmetrical power relations between investors and the workforce. This process has already been partly analyzed in Guinea (Dessertine *et al.*, 2023), but also in other contexts where mechanized ASGM induces increasingly more capital (Verbrugge, 2014). In our case, we can distinguish at least three types of investment, depending on the tools used. The shovels and other expensive equipment used at Balato were mostly owned by foreigners - mainly Indians and Chinese - and then rented by senior officials or gold buyers. This chain, informally managed by the prefecture, led in part to the conviction of the former prefect and the prefectural director of mines for environmental degradation in 2022. The commune has since regained control, although the use of shovels has not become widespread in favor of more accessible tools. In the case of crushers and detectors, which are much less expensive, middle-level officials and even villagers have managed to invest and enter the mining circuit. This was the case, for example, of a woman we met in 2013 from a village near Kankan who had sold some of her livestock to buy a few dozen detectors. Finally, fan motors and solonins are much more affordable (250–350,000 GNF), allowing gold miners to invest for themselves.

Secondly, in this context, this increase in capital does not appear to be a driving force for formalization. In fact, investment relies upon occasional informal financing, notably from civil servants based in large towns who, by virtue of their status, are not in principle authorized to apply for legal permits, or from landowners who oblige workers to sell back the gold obtained at the end of the week.

Under these conditions, the prospect of a linear transition to formalized activities seems highly unlikely (Banchirigah, 2008). On the contrary, informality persists through the involvement of new players who profit from ASGM revenues and have no interest in seeing the activity come to an end (Van Bockstael, 2014).

Reconfiguration of local authorities

In Guinea, local governance is characterized by a complex interplay between customary and public authorities (Rey, 2016). On one hand, customary powers, rooted in ancestral practices, wield significant influence over the daily life of communities, especially regarding matters such as access to land, natural resources and conflict resolution (Rey, 2016). They are also sometimes consulted in decision-making by public authorities, as witnessed through the dispute between the tomboloma and the district office in the management of the bè. On the other hand, despite being initiated by the central government, decentralization is not without its challenges. Decentralized power is frequently marginalized by the central state, particularly concerning subsidies, and encounters difficulty integrating into territories where it needs to coexist with customary authorities. This results in decentralized structures being less representative of communities, further emphasizing the dominance of customary powers at the local level.

However, the evolution of ASGM towards mechanized extraction and processing methods has transformed power dynamics at the local level. The introduction of metal detectors, mechanical shovels, crushers, and other technologies has facilitated the rise of the district office in the governance of ASGM. Unlike artisanal ASGM in the bè, which requires spatial fixation, the use of detectors by gold miners increases their mobility, making them difficult for customary authorities to control. The public authorities saw these changes as an opportunity to regulate this new form of ASGM, leading to a reconfiguration of local powers. This involvement has continued right through to the control of tax collection in the bè.

When land creates a direct access to mining rents

As in other regions of West Africa, land tenure practices in Guinea evolve within a pluralism of land tenure systems (Dessertine & Noûs, 2021; Dessertine, 2019; Rey, 2011). In rural areas of Upper Guinea, customary land tenure is mainly applied at the expense of national land ownership law. This type of tenure

is characterized by “tutorship” relationships that enable land use to be transferred from the representative of the founding lineage to a newcomer, placing the latter in an asymmetrical power relationship (Dessertine, 2017). In this context, land ownership is centralized at village level (Benkalha *et al.,* 2016), even though the management of its use may be delegated to neighborhoods/clans (kabila in the Maninka language). Nevertheless, the distinction between land ownership and use tends to fade in common practice, as land users are seen as managers of the land granted to them. In other words, in everyday use, it is accepted that there are several customary landowners and the land authority of the village lineage is rarely mobilized. This same centralized logic can be found in historical artisanal mining areas, but around the institution of the tomboloma: the customary landowner of a piece of land can delegate the right to use and administer it in return for remuneration.

The transition to mechanized mining has led to a fragmentation of mining governance, with observable shifts favoring public entities like the district office in the taxation of mechanized ASGM, often to the detriment of the customary authority of the tomboloma. Concurrently, customary landowners have seized opportunities arising from the altered power dynamics. They are now playing an increasingly influential role in governing mining activities on their land by directly imposing taxes on machines operating within their territories. Some of these landowners directly finance and install mechanized ASGM operations on their land, in return for which the miners are obliged to sell the gold back to them, often for less than the market price. Locally known as djati, they are increasingly taking a central role in local mining governance.

This rise in power can be seen in their negotiating power with the authorities. During our fieldwork, Burkinabé gold miners,9 who had been financed and installed by a djati on his plantation, were arrested. It was the djati himself who came to negotiate with the authorities to release the workers, which they did, in return for an undisclosed sum.

Customary land ownership is thus becoming an increasingly privileged means of accessing directly to mining rents, helping to fragment local mining governance that was previously centralized at village level. However, the institution of the tomboloma has not completely disappeared. Rather, it has been reconfigured

at neighborhood/clan or kabila level. In Balato, the founding lineage delegated land management to the village's four kabilas. Faced with the intensification of logging, each kabila decided to form its own tomboloma to organize logging on its own estate. The growing importance of land issues in local and customary mining governance is also reflected in the increasing number of damanfèti ("mine chiefs"). Each lineage also chooses its own group of damafèti. Local mining governance thus seems to be following two trends that testify to a process of territorialization: on the one hand, the fragmentation of local customary institutions at the kabila or neighborhood level, and on the other, the emergence of the district level, an administrative level that in a way supplants the village level.

Mechanization of ASGM thus reinforces "hybrid" modes of land management in rural areas (Dessertine and Noûs, 2021), where the boundary between formal and informal on the one hand and propertisation and formalization on the other is particularly blurred. We describe here a form of propertisation without state formalization, in an informal context. These more or less silent evolutions at work in the Balato district of Upper Guinea, presage more profound transformations of the artisanal mining system. Indeed, for Saldarriaga-Isaza et al. (2013) ASGM can be considered as a common pool resource, ie. as a system where the extraction of resource units by one user subtracts from the quantity of the resource potentially available to others. To a certain extent, this mode of organization is mainly due to the non-ownership inherent in illegality and non-formalization: when the extraction is illegal, the resource is under "open access," and almost anybody can dig up gold. But, "hybrid" modes of land management in auriferous rural areas challenge this ASGM definition. Our conclusions suggest that we should observe the transformations at work in the ASGM not from the governmental and institutional point of view of formalization and legalization, but from the point of view of the gold miners themselves, and the way they construct and negotiate the gradual transformation of their practices (Fisher *et al.,* 2023). These "hybrid" modes of land management are the pathways constructed by gold miners coping with inappropriate national mining laws, by recomposing resource frontiers (Fisher *et al.,* 2021). In other words, our article demonstrates how mechanization contributes to the evolution of "gold lifeways" as described by Fisher *et al.,* (2023),

encompassing how gold and its extraction are embodied in lived experience intertwining matter, social organization, land tenure and technological choices. It gives expression to different strands of ASGM evolution toward formalization.

4.2.5. Conclusion

In this study, our aim was to document and analyze the social, economic and political changes brought about by artisanal and small-scale gold mining in Upper Guinea, particularly after the introduction of small-scale mechanized technical innovations.

Scholars discussing sociotechnical transitions commonly argue that they occur through substitution (Berkers & Geels, 2011; F. W. Geels, 2006). The ongoing trend in mechanization we documented in this article exemplifies transformations arising from a cumulative adoption of small-scale mechanized tools, rather than a radical technological substitution.

This conclusion must be put in perspective with the incidence of the temporal frame of reference on the studying of socio-technical trajectories. The nearly day-by-day documentation of evolutionary trajectories, led on a short period (one year) undoubtedly amplifies the attention paid to the accumulative processes. A more macroscopic analysis, on the scale of decades for example, would no doubt tend to erase these accumulations, highlighting only the major innovations. As a result, if this ongoing accumulation of small innovations makes it difficult to draw definitive conclusions about the sociotechnical trajectories of ASGM in Upper Guinea, it does, however, highlight trends that deserve the attention of research and public authorities. We have highlighted how this minor, “low-key” mechanization of artisanal gold mining has led to a competition between customary authorities and public institutions to capture rent. The current state of our research consolidates our hypothesis that this competition can lead to a partial reconfiguration of power at the local level. Although the tomboloma, which no longer represents the village as a whole but rather family or clan entities, may continue to play a key role in conflict management and the delimitation of the bè. But, the ongoing loss of control over the tax levy, now managed by the public authorities, may contribute

to a redistribution of power. If finally adopted locally, this transfer of tax prerogatives from customary authorities to public bodies may foster a change in the way mining rents are managed, in a context where public entities are struggling to integrate into a rural environment which is still largely dominated by customary powers.

Finally, our conclusion questions the relevant spatial scale and boundary for the observation of socioecological evolution. The study of socio-technical developments often invites us to go beyond the boundaries, as they often transcend administrative boundaries such as the bè, the village, the region, or even the country. For instance, we have thus observed that technical accumulation is not limited to the bè model and is even associated with the overcoming of its spatial and jurisdictional limits. What's more, it is accompanied by a complex articulation and interdependence between mechanized techniques based on circuits inspired by those of the industrial sector and those of immigrant gold miners. Moreover, the mechanization of ASGM may transform relationship to space: in a rural environment dominated by tutelage relations and a topocentric conception of space (Dessertine, 2021), the intensification of subsoil mining places the focus on the materiality of the land and its subsoil, transforming it into a direct access to mining rents. As a result, customary landowners may increasingly favor privatization practices, including informal ones, through increasingly precise delimitations and direct taxation of machines operating on their land.

Acknowledgements

This study has received financial support from the IRD/ACE Partners and Agence Française de Développement (AFD) programme and the IMT Institut Mines Télécom foundation /Chaire de Recherche et de Formation "Industrie Minérale et Territoires".

4.3. Discussions/Conclusions : Dynamiques sociotechniques et enjeux de formalisation du secteur de l'EMAPE

Les innovations techniques introduites dans l'orpaillage ont considérablement impacté le système sociotechnique du *bé*, qui a historiquement prévalu en Haute-Guinée. D'une part, l'adoption de méthodes mécanisées a intensifié les activités d'extraction et modifié les rapports de force entre les acteurs. D'autre

part, ces transformations s'inscrivent dans un contexte où l'expansion de l'exploitation industrielle réduit les espaces disponibles pour les mineurs artisanaux, accentuant ainsi la concurrence entre les deux formes d'exploitation (Dessertine et Nous, 2021 ; Bolay, 2016).

En complément des dynamiques territoriales explorées dans ce chapitre, nous souhaitons examiner et développer ici deux éléments :

- Les effets de ces évolutions sur les perceptions locales et les discours relatifs à la rareté et à l'épuisement futur des ressources, ainsi que la manière dont elles influencent les stratégies d'anticipation et d'adaptation des différents acteurs. (Fisher *et al.,* 2023). Si certains mineurs artisanaux appellent à un retour au système du *bé*, d'autres investissent davantage dans des techniques mécanisées pour maximiser le rendement des gisements restants. Par ailleurs, des groupes communautaires commencent à défendre des causes écologiques, en questionnant les conséquences des pratiques de l'EMAPE d'un point de vue environnemental. Nous avons pu montrer dans notre étude de cas que l'introduction de nouvelles formes d'extraction mécanisées, basées sur des équipements modernes, échappe en grande partie au contrôle institutionnel du *tomboloma*, fragilisant ainsi sa gouvernance. Cet affaiblissement des institutions coutumières s'inscrit dans des tendances similaires documentées dans d'autres contextes régionaux (Dessertine *et al.,* 2023 ; Lanzano, 2020 ; Lanzano et Di, 2017). En continuité de l'article précédent, nous discutons plus en détail le lien entre mécanisation, fragilisation des autorités coutumières et enjeux de formalisation du secteur de l'EMAPE.

4.3.1. Innovations technologiques et durabilité : les questionnements des orpailleurs

Nouvelles technologies, maintien des pratiques artisanales et durabilité de la ressource

L'intensification de l'orpaillage s'est traduite par l'augmentation des sites et la réexploitation des anciens sites. Lors de nos missions de terrain à Bouré et à Sèkè, nous avons pu constater à quel point l'intensification des activités d'orpaillage mécanisée était marquée. À Bembeta, par exemple, les zones minières informelles

à « ciel ouvert » s'étaient multipliées, au lieu des puits traditionnels du *bé.* Seul un petit groupe d'orpailleurs persistait à continuer dans le système du *bé*, bien que de manière désespérée. Interrogé à ce sujet, le responsable du site explique que la difficulté d'accès au minerai (notamment pour des raisons économiques) au moyen des pelles mécaniques, dans les zones à ciel ouvert, les contraignait à explorer de nouvelles zones dans l'espoir de trouver des gisements exploitables. Ces pelles chargeaient les camions qui, ensuite transportaient le minerai vers les laveries. Ces machines, souvent situées le long des rivières ou parfois même à proximité des habitations, fonctionnaient de manière ininterrompue, 24 heures sur 24.

Cependant, les nouvelles techniques mécanisées n'ont pas complétement remplacé les techniques artisanales. Si des dynamiques similaires sont observables dans d'autres sites de Bouré, le système d'extraction par puits du *bé* est encore largement d'usage à Balato, comme dans certaines localités de Doko. Ce maintien s'explique notamment par des raisons économiques et culturelles : les pratiques coutumières du *bé* sont perçues comme un moyen de préserver les ressources et prolonger l'exploitation tout en continuant de bénéficier de la rente. De plus, le taux de découverture permettant l'accès aux couches aurifères, devient trop important pour que l'utilisation des pelles mécaniques reste rémunératrice. Le chef du *tomboloma* de Kintinia déclare à ce propos : « Ce que je recommande pour la règlementation de l'orpaillage, c'est de pratiquer l'orpaillage selon les pratiques anciennes ». D'un point de vue économique, ces pratiques anciennes restent rentables parce qu'elles permettent la sélectivité, à la différence des méthodes à ciel ouvert, nécessitant la découverture générale de la couche aurifère. La question de préserver le système de *bé* revient ainsi régulièrement dans les discours des mineurs face à la mécanisation croissante.

Lors de nos dernières missions en 2024, plusieurs de nos interlocuteurs ont exprimé leurs inquiétudes quant à la viabilité de l'orpaillage dans les années à venir, si les pratiques actuelles perdurent. Pour de nombreux interlocuteurs, les innovations technologiques sont perçues comme un indicateur de l'épuisement progressif des réserves aurifères. Dans cette perspective, les « nouvelles » machines et techniques apparaissent avant tout comme une réponse adaptative à cette contrainte croissante. Un sage de Kintinia affirme : « les sites actuellement exploités par la SAG étaient autrefois utilisés par les communautés locales pour leurs activités

d’orpaillage. Aujourd’hui, ces communautés se trouvent privées d’espaces disponibles pour travailler. Par conséquent, les mêmes zones sont exploitées de manière répétée, certains sites en étant déjà à leur troisième cycle d’exploitation. La mécanisation résulte de cette dynamique : depuis que la SAG a pris le contrôle de la majorité des terrains exploitables et que les rares espaces encore accessibles aux communautés locales s’épuisent à leur tour, seuls les équipements mécanisés permettent désormais de continuer l’extraction ».

Ces dynamiques de réajustement entre maintien des pratiques artisanales et recours croissant à la mécanisation ne vont pas sans tensions. Elles suscitent des inquiétudes grandissantes quant à l’avenir de l’orpaillage, tant du point de vue économique qu’environnemental. C’est dans ce contexte que s’expriment de plus en plus de critiques locales à l’encontre de la mécanisation, perçue par certains acteurs comme un facteur de déséquilibre, voire de menace, pour les écosystèmes, les terres agricoles, et les conditions de subsistance.

Critiques de la mécanisation et durabilité des pratiques

Si les acteurs locaux reconnaissent sans équivoque le développement récent de l’orpaillage et le rôle clé de la mécanisation dans cette dynamique, certains soulignent que les innovations technologiques ne devraient pas être considérées comme un moyen d’accroître le potentiel d’extraction (Fisher *et al.*, 2023). Outre les enjeux d'inégalités, de raréfaction des ressources, l'impact environnemental des pratiques mécanisées suscite également des inquiétudes croissantes parmi les acteurs locaux. Un groupe d’opposants, connu sous le nom de « *nfabara tèdôtignèna* » (littéralement traduit par « chez moi ne sera pas détruit »), illustre ces préoccupations en dénonçant les effets négatifs des formes actuelles de mécanisation poussée dans la région de Siguiri. Selon ce groupe, la mécanisation poussée a pris une tournure incompatible avec la préservation de l’environnement. Ses membres soulignent que l'utilisation croissante de machines lourdes contribue à la destruction des terres agricoles (déstructuration des sols, entrainant une baisse significative de leur potentiel agricole, même en cas de stockage éphémère) et menace les cours d'eau localement (mise en suspension d’éléments fins des sols), compromettant ainsi à la fois l’écosystème et les moyens de subsistance des communautés. Ces critiques locales de la mécanisation, souvent formulées en termes de préservation de

l'environnement ou de viabilité économique, révèlent aussi une dynamique de repositionnement dans les rapports de pouvoir au sein du secteur. Comme l'ont montré Avelino et Wittmayer (2016), les transitions vers la durabilité impliquent inévitablement des reconfigurations du pouvoir entre acteurs, à travers des mécanismes de renforcement ou d'érosion des rôles, des ressources et des discours. En effet, les préoccupations émergentes notamment autour de l'inégalité croissante dans l'accès aux ressources et aux bénéfices, la raréfaction et l'épuisement des ressources, ainsi que les impacts environnementaux traduisent leur position dans un système en reconfiguration.

4.3.2. Fragilisation des autorités coutumières et informalité

Comme nous avons montré dans ce chapitre, certaines innovations mécanisées viennent compléter les techniques artisanales historiques maîtrisées par les instances de gouvernance coutumières, tandis que d'autres échappent entièrement à la régulation spatialisée du *tomboloma*. Cela a ouvert la voie à une prise de pouvoir plus importante de nouveaux acteurs dans la gouvernance minière locale comme les propriétaires fonciers et les chefs de districts, qui voient dans ces innovations une opportunité d'élargir leur influence en instaurant des mécanismes de taxation informelle. D'une part, les acteurs publics (communes, districts, bureaux de la jeunesse, services administratifs déconcentrés) et, d'autre part, les acteurs privés (propriétaires fonciers, investisseurs financiers) se disputent désormais le contrôle des activités artisanales mécanisées dans le but de capter la rente générée. Avec le développement des pratiques mécanisées, les investisseurs financiers, grâce à leurs investissements dans les équipements et la production, jouent désormais un rôle central dans l'EMAPE (Lanzano, 2020). En parallèle, alors que la gestion foncière reposait historiquement sur des arrangements collectifs au niveau villageois, sans appropriation individuelle (Dessertine, 2019; Arnaldi di Balme & Lanzano, 2013), un nombre croissant de propriétaires fonciers se tourne vers l'exploitation mécanisée sur leurs parcelles, conduisant ainsi à une individualisation de la rente minière.

Cette évolution pose la question de la formalisation dans un contexte où celle-ci est couramment associée à la propriété privée. Cependant, nous observons ici une dynamique particulière où l'appropriation privée

des ressources se développe, sans formalisation. Cette situation reflète un paradoxe : bien que les ressources soient de plus en plus accaparées par des individus ou des groupes, le cadre juridique reste inadapté et peu appliqué, laissant place à une gouvernance parallèle qui mêle pratiques coutumières et mécanismes de taxation informelle. Cela fragilise davantage les structures coutumières, telles que le *tomboloma*, tout en créant des tensions entre celles-ci et les nouveaux acteurs.

Notre travail de recherche invite donc à relire les enjeux de « formalisation » ou de « modernisation » de l'EMAPE à la lumière des dynamiques sociotechniques qui transforment aujourd'hui tant les pratiques que la gouvernance des activités d'orpaillage. Il convient de ne pas négliger, d'une part, l'impact de l'introduction de nouvelles techniques, souvent importées d'autres pays par les jeux des mouvements migratoires de orpailleurs en Afrique de l'Ouest. Mais il convient de ne pas sous-estimer, d'autre part, la capacité des autorités coutumières à s'adapter à ces transformations techniques et sociales, et à pérenniser voire à renouveler leur rôle dans le temps. D'autant plus que les capacités de l'Etat à suivre l'orpaillage, à une échelle locale, reste un autre défi de la gestion de la formalisation de ce secteur. Les difficultés sont, entre autres, l'insuffisance des ressources humaines et financières, et le manque de logistique. Dans la suite de notre travail de recherche, nous questionnons le rôle que peuvent jouer des technologies telles que la télédétection, pour comprendre les dynamiques socio-spatiales, essentielles à la mise en place d'une formalisation efficace car prenant en compte et s'appuyant sur les spécificités des dynamiques locales.

Chapitre V : Télédétection, une nouvelle technologie au service de la formalisation de l'EMAPE ?

CHAPITRE V : TELEDETECTION, UNE NOUVELLE TECHNOLOGIE AU SERVICE DE LA FORMALISATION DE L'EMAPE ?

5.1. Introduction

5.1.1. Conséquences environnementales et formalisation de l'EMAPE

De nombreuses recherches ont mis en évidence les avantages économiques de l'orpaillage dans les milieux ruraux des pays en développement, notamment en Afrique subsaharienne. Cette activité soutient l'emploi et les moyens de subsistance des populations rurales, ainsi que les objectifs de réduction de la pauvreté. Pour autant, son développement inquiète les gouvernements nationaux, mais aussi les acteurs de développement, car il entraîne des transformations plus ou moins rapides et profondes dans ces zones : transformation du paysage et de l'usage du sol, déforestation (décapage pour accéder aux sites d'extraction, soutènement des puits et le bois pour la cuisine), pollution de l'eau et de l'air, problématiques de santé. Ces conséquences, en particulier environnementales, sont devenues de plus en plus visibles, à mesure de la mécanisation croissante de l'activité. Face à ces impacts multiples et à leur intensification, les autorités et les partenaires du développement ont misé sur la formalisation comme levier central pour encadrer et atténuer les effets de l'orpaillage artisanal. Si la formalisation de l'EMAPE vise à intégrer l'exploitation informelle et illégale de l'or dans l'économie formelle pour en diminuer les impacts négatifs tant sur l'environnement, la santé que sur l'économie locale, alors elle doit passer par une collecte et une transparence accrues des données relatives à l'évolution, dans le temps et dans l'espace, du secteur.

5.1.2. Géomatique, télédétection et suivi environnemental de l'impact de l'EMAPE

Nous avons montré précédemment comment des innovations techniques, même de petite envergure comme les détecteurs de métaux et les *soleinis*, peuvent entraîner des transformations sociales en profondeur et venir questionner, sans remettre en cause complètement, la place des autorités coutumières dans la régulation des *bé*. En mettant en perspective ces constats avec l'enjeu de « formalisation » de l'EMAPE, porté principalement par les institutions gouvernementales, nous en sommes venus à nous interroger sur le rôle que peuvent jouer les acteurs locaux, et les autorités coutumières en particulier, pourtant souvent mises

à l'écart dans ces projets de « modernisation » mais aussi sur l'impact de nouvelles technologies sur ces dynamiques de « formalisation ».

Parmi ces nouvelles technologies, la géomatique, et la télédétection en particulier, sont de plus en plus mobilisées comme outil de surveillance de l'orpaillage clandestin (Gond *et al.,* 2004). Notre travail s'inscrit en rupture avec ces travaux qui tendent à faire de la télédétection un outil de surveillance au service de l'Etat, pour aider les instances déconcentrées dans leurs choix d'intervention. En Guinée, les politiques gouvernementales vis-à-vis des mineurs artisanaux évoluent entre tolérance et répression, en fonction des intérêts en jeu, notamment ceux des sociétés minières internationales. Il propose de questionner la place que la géomatique, à travers la télédétection mais plus largement la cartographie, peut jouer dans les dynamiques sociotechniques locales, dans l'optique d'un *empowerment* des acteurs locaux (autorités coutumières, orpailleurs) dans un effort concerté de « formalisation » ou de « modernisation » de l'EMAPE. Cette ambition d'*empowerment* est difficilement atteignable et vérifiable à court terme. Notre travail aura plus modestement pour objectif de questionner le rôle que les cartes peuvent jouer comme « objet-frontière », renouant le dialogue entre savoirs scientifiques et savoirs locaux et que des ateliers participatifs peuvent jouer auprès des orpailleurs dans l'appropriation de cet objet-frontière.

Quel rôle la télédétection, en tant qu'innovation technique, peut-elle jouer dans l'amélioration de la gestion de l'orpaillage ? Comment peut-elle contribuer à la prise en main, par les acteurs locaux, de la mise en œuvre d'une nouvelle formalisation du secteur ? Pour faire un premier pas dans ce sens, ce chapitre porte sur l'utilisation de la télédétection et les Systèmes d'Information Géographique pour améliorer la gestion de l'orpaillage et la protection de l'environnement. Il répond à la question des informations apportées par ces outils sur les dynamiques spatiales passées et actuelles sur une zone d'étude, et interroge leurs limites dans leur capacité à proposer une approche renouvelée de la formalisation du secteur, impliquant les acteurs locaux. L'article qui suit a été soumi en septembre 2024 dans la revue *GeoJournal*. Il apporte des premiers éléments d'analyse des dynamiques spatiotemporelle à l'œuvre suite à la mécanisation de l'EMAPE dans la province de Siguiri.

5.2. Article 2: Mapping and analysis of the expansion of artisanal gold mining in upper guinea using remote sensing

Ibrahima Kalil Doumbouya [a,c], Marc Vinches [a], Anna Dessertine [b], Juliette Cerceau [a], Ahmed Amara Konaté[c]

[a] *Hydrosciences Montpellier, Univ Montpellier, IMT Mines Ales, IRD, CNRS, Ales, France – 6 avenue Clavières, 30 319 Alès Cedex, France.*

[b] *IRD-UMR PRODIG, Aubervilliers, France/Institut National d'Aménagement et d'Urbanisme (INAU), Rabat, Maroc*

[c] *Laboratoire de Recherche Appliqué – Institut Supérieur des Mines et Géologie de Boké, Guinée*

Abstract

Artisanal gold mining has been a fundamental pillar of the rural economy in Upper Guinea for several centuries. The governance of this sub-sector of the national mining industry often oscillates between tolerance and repression, depending on the interests at stake. Since the early 2010s, mining and ore processing practices have significantly evolved due to the rise in gold prices and the introduction of mechanised techniques, leading to an increase in artisanal gold mining. We analysed the spatiotemporal dynamics of artisanal gold mining in the historic Bouré region of Guinea from 2008 to 2023.

The machine learning models Random Forest and Support Vector Machine were applied to Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI/TIRS satellite data to assess the expansion of mining sites over time.

The results show a considerable expansion of artisanal gold mining activities during the study period, with areas increasing from 68 hectares in 2008 to 1,324 hectares in 2023. A period of rapid intensification was observed between 2008 and 2012, followed by more moderate expansion until 2023. The analysis also revealed that artisanal mining has significant environmental impacts, including soil degradation, destruction of savannah vegetation cover and cashew crops, and alteration of water quality. These impacts are exacerbated by the evolving techniques relying on increasing mechanisation.

Spectral confusions between mining sites and urban areas, as well as the presence of industrial mining sites, pose challenges for image classification in this region. The Random Forest algorithm demonstrated an overall accuracy of 96%, superior to that of the Support Vector Machine algorithm (91%).

This study supports the efforts of the Guinean government in analysing this activity and highlights the importance of an integrated approach, combining advanced information technologies and the involvement of local communities, to define a balance between economic development and environmental preservation.

Keywords: artisanal gold mining, Upper Guinea, Random Forest, Support Vector Machine, Landsat.

5.2.1. Introduction

Artisanal and small-scale gold mining is a sector of paramount importance in the global gold economy, accounting for nearly 20% of world production and more than 90% of the workforce (United Nations, 2017). Numerous studies highlight the economic benefits of this activity in rural areas of developing countries, in terms of job creation, poverty reduction, and support of livelihoods (Fisher *et al.*, 2021; Hilson, 2016; Seccatore *et al.*, 2014; Hilson & Garforth, 2013; Banchirigah, 2008). However, this activity is controversial among the general public. This controversy is mainly fuelled by concerns related to environmental issues, including soil degradation, deforestation (stripping to access extraction sites, pit support, and wood for cooking), water, and air pollution (Ngom *et al.*, 2023; Ang *et al.*, 2021; Barenblitt *et al.*, 2021; DeWitt *et al.*, 2020; Abaidoo *et al.*, 2019; Spiegel, 2009; Hilson, 2002b). Furthermore, working without appropriate protective equipment, artisanal miners are often exposed to high levels of endangerment during their work (Ajith *et al.*, 2021; Esdaile & Chalker, 2018; Veiga, Maxson, *et al.*, 2006). These environmental consequences have become more visible in recent years, particularly due to the increasing mechanisation of the activity, which has led to an increase in exploitation and the expansion of stripped areas.

Over the past decade, West Africa has experienced development in artisanal gold mining, driven by rising gold prices and the mechanisation of extraction and processing methods (Champy & Dessertine, 2024; Chevrillon-Guibert & Magrin, 2023; Dessertine *et al.*, 2022; Lanzano & Arnaldi di Balme, 2021; Hilson & Garforth, 2013). In Guinea, similar to other countries in the Global South, this mining has transitioned from a manual, low-technology process, to a mechanised operation using advanced techniques and technologies (Petit-Roulet, 2024; Dessertine *et al.*, 2023; Dessertine, 2016). Thus, the introduction of new tools and the

massive influx of miners, encouraged by the rise in gold prices, have led to the intensification of mining activity in historical areas, as well as the discovery of new mining areas (Dessertine *et al.,* 2023; Gagnol *et al.,* 2020), causing a significant expansion of artisanal gold mining. This informal mining development raises concerns both at the level of national authorities and the local community, as well as among stakeholders involved in development, due to the environmental and health impacts associated with these new practices.

Government policies towards artisanal miners in Guinea fluctuate between tolerance and repression, depending on the interests at stake, particularly those of international and foreign mining companies supported by public authorities (Dessertine & Noûs, 2021; Bolay, 2016a, 2014). Generally, artisanal activity is tolerated as long as it does not compromise the profitability of industrial mining permits held by these companies. However, in case of a conflict of interest, artisanal miners are often forced to leave the affected areas through "eviction" operations, like those which occurred between 2015 and 2016. In November 2022, the government also issued a decree banning artisanal mining activities, mobilising the army, and seizing equipment. This initiative was applauded by public opinion and the media, although the impact of such measures remains widely debated (Nyamekye *et al.,* 2021). These initiatives represent, in reality, the government's efforts to control these activities. However, the state faces several challenges in obtaining continuous information. The difficulties include, among others, the insufficiency of human and financial resources, and the lack of logistics. The use of technologies such as remote sensing could contribute, at least partially, to overcoming these obstacles.

The analysis of time series of spatially explicit satellite images allows us to observe changes in land use, including those resulting from the evolution of artisanal gold mining. Understanding these changes is fundamental for any initiative or policy aimed at managing or reversing them. Consequently, there is a well-recognised scientific interest in satellite observations in West Africa. Over the past decade, many publications have explored this field, highlighting the usefulness of satellite data in analysing the dynamics of artisanal gold mining in the region.

Most of these studies have focused on Sentinel data (Sentinel-1 and Sentinel-2), particularly in Ghana and Côte d'Ivoire, because of their high spatial resolution (10 m), high revisit frequency (5 days with both satellites), and radar capabilities (which operate independently of weather conditions) (Ngom *et al.*, 2023; Nyamekye *et al.*, 2021; Forkuor *et al.*, 2020). However, the relatively recent availability of this data complicates its use for long-term analysis. For this reason, such approaches are inadequate for understanding the dynamics of artisanal gold mining in Upper Guinea, which requires a long-term analysis. This task becomes easier when images with a resolution that is suitable for various applications, such as land mapping, are used. Landsat images, which have been available for many years, are particularly useful for this purpose. However, detecting changes from Landsat images presents other methodological challenges related to accuracy and time (Ruelland *et al.*, 2011). The choice of the most appropriate algorithm for an image classification problem is just as crucial as the selection of the image data (Nyamekye *et al.*, 2021; Lu & Weng, 2007). The performance of various classification algorithms can vary depending on the specific characteristics of the images and the local geographical context (types of landscapes), even when using the same satellite data and an equal and balanced number of training samples. Although most of these classifiers can produce acceptable accuracies, studies have highlighted persistent performance disparities (Khatami *et al.*, 2016).

A comparative study of the performance of Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), Convolutional Neural Network (CNN), and Artificial Neural Network (ANN) models for analysing changes in the ASM landscape in Ghana indicated that RF outperformed SVM (Nyamekye *et al.*, 2021). However, there appears to be a lack of remote sensing applications for monitoring artisanal mining activities in Guinea. Many authors focus on socioeconomic impact issues (Diallo, 2017; Bolay, 2016b; Dessertine, 2016). Furthermore, the ongoing transformations in mining territories in West Africa and the sometimes primarily underground nature of artisanal mining make detection difficult. Historically, gold panning was a seasonal activity, but increasing mechanisation has made it a year-round, itinerant, and highly mobile activity (Bolay, 2016b; Dessertine, 2016). Additionally, the ability to dig to great depths blurs the distinction between artisanal mining and industrial mining in a context where the two coexist.

This article aims to address this essential need by building on work already undertaken in West Africa to provide a more detailed understanding of the evolution of the Bouré region's landscape, which is steeped in mining history.

In the next section, we present our methodological approach. Section 3 presents our results. Finally, Section 4 offers avenues for discussion on the developments in artisanal gold mining and the ways in which their environmental consequences manifest.

5.2.2. Materials and Methods

We analysed the spatiotemporal evolution of artisanal mining from 2008 to 2023, a period during which mechanised practices were introduced to extract and process gold, raising significant concerns. Our analysis covers both the distribution and extent of mining in the region.

Study Area

The Bouré region is a historic territorial entity that now corresponds to the sub-prefectures of Kintinia and Didi. The sub-prefecture of Kintinia, where our study area is located, is situated 20km northwest of the city centre of Siguiri, in Upper Guinea. It is situated between the coordinates 11° 36' 0" N and 9° 23' 0" W. The presence of mining activity has attracted people from different regions of the country and the sub-region to these areas for several centuries, and today the population remains significant. According to the national census of 2014, the population is estimated at 124,000 inhabitants (RGPH, 2014), making it the largest sub-prefecture in the prefecture of Siguiri in terms of population. The practice of artisanal gold mining is deeply rooted in the local socio-political and economic structures, with strong involvement from traditional authorities, notably the elders (Lanzano & Arnaldi di Balme, 2017).

From a climatic perspective, the study region has the typical characteristics of Upper Guinea, with a hot and dry tropical climate of the Sudan-Guinea type. This climate is characterised by the alternation of two seasons: a dry season, during which the climate is influenced by the Harmattan, and a rainy season. The region is distinguished by four very rainy months, from June to September, two humid or intermediate

months, October and November, and six months considered ecologically dry, from December to May. Annual rainfall varies between 1,600 mm and 1,200 mm. Temperatures vary considerably between seasons, ranging from 37°C during the dry season to 14°C during the rainy season. Regarding land occupation and use, the area mainly consists of shrub savanna vegetation, plantations primarily composed of mango and cashew trees, mining areas (industrial and artisanal mining), village infrastructure, and watercourses. The main watercourse in the region is the Koba River, a tributary of the Niger River, along with two streams, Dambili and Faranin. These watercourses have contributed to the formation of lowlands, which are the main active areas for artisanal gold mining in the region. Artisanal gold mining, practiced for a long time, mainly involves alluvial gold. This type of gold results from the weathering and erosion of gold-bearing rock formations, accumulating in the form of powder, flakes, and nuggets in alluvium.

Geologically, the study area is located in the Siguiri Basin, in the northwestern part of the Paleoproterozoic domain, also known as the Birimian. This basin comprises Proterozoic-aged Birimian sedimentary and volcano-sedimentary formations. The most widespread facies correspond to fine sediments (argillites and pelites) with some levels of schists, usually grey-green or black, sandstones, greywackes, and limestones (Beavogui, 2014; Watts, 2010), locally differentiated (Lebrun *et al.*, 2016; Beavogui, 2014).

These formations were affected by the Eburnean orogeny, which contributed to the emplacement of granitoids, inducing metamorphism of the host rocks and the formation of hydrothermal veins rich in gold, often associated with quartz veins (Markwitz *et al.*, 2016; Lebrun *et al.*, 2015; Watts, 2010; Egal *et al.*, 2002). The Birimian is unconformably overlain by the Upper Proterozoic rocks observed on the northwest flank of the Siguiri Basin and traversed by Mesozoic doleritic and granitic intrusions in the form of dykes and sills (Lebrun *et al.*, 2016; Watts, 2010). Ideal conditions for lateritisation since this period have contributed to the formation of several generations of laterite, thus giving rise to the current relief of plateaus and hills in the Siguiri region (Beavogui, 2014; Watts, 2010).

Although the region has received particular attention in the geological exploration of gold resources for several decades, research on the impact of mining activities on the environment has not attracted much attention (Konaté *et al.*, 2022; Sylla *et al.*, 2017). Figure 16 shows the study area and the regional geology.

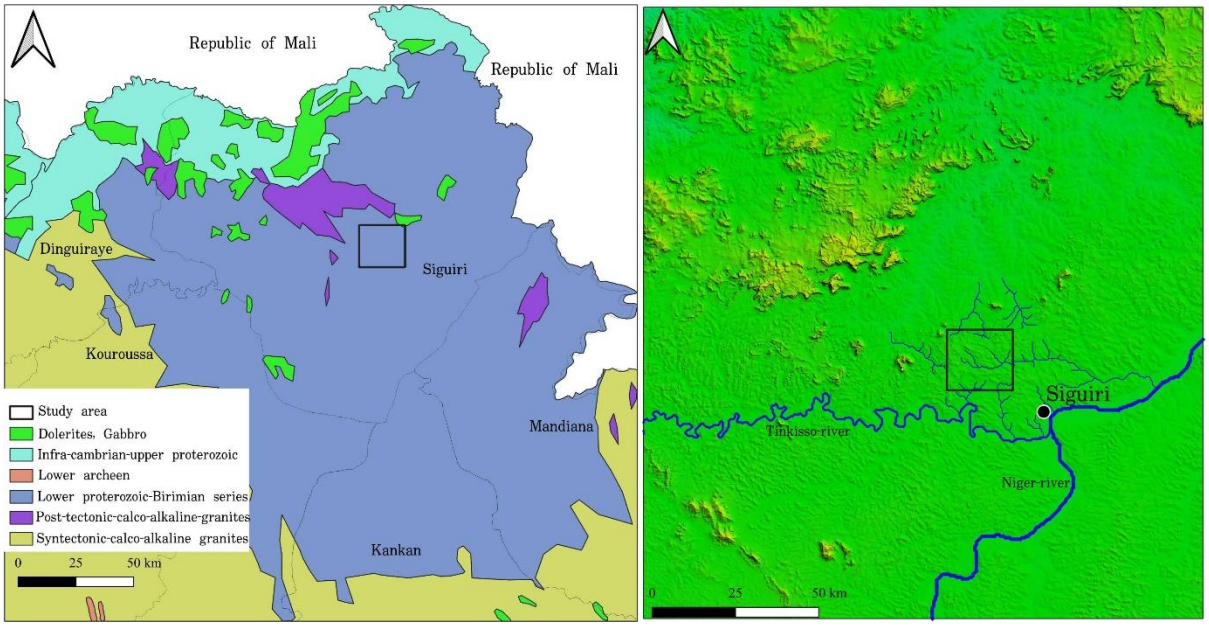


Figure 17 : Map of the study area: geological and topographic map of Siguiri modified from (V. Mamedov et al., 2010).

Data Set

Field Data

The data collection began with field missions aimed at identifying the main characteristics of land use and land cover (LULC). The initial missions were conducted between April and June 2022. During these missions, GPS surveys were taken to document the various types of LULC. To characterise the land use/land cover classes, we adopted a general classification typology (Ruelland *et al.*, 2011; Anderson, 1976). The following classes were retained: Mining, Arable Land, Urban Area, and Water (Table N°1). Mining was further distinguished between artisanal and industrial mining. A second series of visits was conducted between February and March 2023. During these visits, it was observed that, although other types of land use/land cover did not undergo significant changes, new artisanal mining sites had been opened while some sites that existed during our initial missions were no longer active.

In addition to these field data, high-resolution images from Google Earth Pro were used to collect complementary data. The use of high-resolution Google Earth images for complementary data collection is a common method used in similar studies (Barenblitt *et al.,* 2021; Randazzo *et al.,* 2021; Forkuor *et al.,* 2020). The combination of these data sources ensures better accuracy in the classification and analysis of land use changes. By following these proven practices, we were able to obtain a sufficient amount of data to train our models. The data were pre-processed in RStudio to ensure they were clean, consistent, and compatible with Google Earth Engine (GEE). This processing includes the creation of land use and land cover classes, as well as conversion to a format supported by GEE. For simplicity, we grouped plantation and savanna classes under the category "arable land". These data were then used as training and validation data for the LULC classification.

Tableau 2: Main LULC

LULC Category	**Description of Land Use/Cover**
Mining	Industrial and artisanal mining (digging areas, washing), whether closed or active
Urban Area	Residential and commercial buildings, roads, with highly reflective roofing materials
Arable Land	Vegetation, cashew trees, mango trees
Water	Water bodies and flooded meadows

Satellite Data and Indices

In this study, we used satellite data from Landsat-8 OLI/TIRS and Landsat 7 ETM+ (Drusch *et al.,* 2012). The Landsat program is one of the oldest Earth observation programs, making it particularly suitable for a diachronic analysis over a long period (Abass Saley *et al.,* 2021; Obodai *et al.,* 2019; DeWitt *et al.,* 2017; F. D. L. Lobo *et al.,* 2016). The period selected for this study to evaluate the development of artisanal gold mining in Guinea extends from 2008 to 2023. This period was chosen because of the mechanisation process that took place in the gold sector nationwide. The first phase of mechanisation began around 2010 and continued progressively until the government authorities banned certain equipment in November 2022.

We made efforts to select cloud-free images, but due to persistent cloud cover, we selected images with up to 5% cloud coverage. A cloud and shadow mask was applied using the "qa_pixel" band. To improve classification accuracy, indices derived from the spectral bands of the satellites were calculated and incorporated into the original spectral bands. These indices included the Normalised Difference Vegetation Index (NDVI), Normalised Difference Water Index (NDWI), Colour Index (CI), Redness Index (RI), Bare Soil Index (BSI), Normalised Difference Built-up Index (NDBI), Normalised Built-up Area Index (NBAI), Band Ratio for Built-up Area (BRBA), and Brightness Index (BI). These indices were used to minimise spectral confusions (Ngom *et al.,* 2022, 2020; Nyamekye *et al.,* 2021) between different land cover types, such as mining sites, roads, or vegetation-free areas.

The entire process of acquiring and processing images, as well as calculating indices, was conducted on GEE. Earth Engine is a cloud-based platform that provides free access to a vast, regularly updated database and allows processing without traditional computational challenges (Gorelick *et al.,* 2017).

Digital Elevation Data

Digital elevation models from TanDEM-X and the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) were obtained via the Google Earth Engine (GEE) platform. The elevation data provide consistent and high-quality altitudes globally, with a resolution of 30 meters. The SRTM DEM was produced in 2000, while the TanDEM-X covers the period from 2010 to 2015. These data were used to perform a topographic analysis. Changes in the elevation of the land surface can be used to locate mining activity. Combined with

other data, it can distinguish between different types of mining (artisanal and industrial) (Barenblitt *et al.*, 2021; Forkuor *et al.*, 2020).

Mapping

Mapping was conducted using Google Earth Engine (GEE), an open-source cloud-based platform particularly suited to time series analysis, due to its nearly unlimited processing and storage capacities, as well as its extensive library of remote sensing data (Gorelick *et al.*, 2017). Although the platform has seen increasing application globally, its use in West Africa remains limited compared to other regions, particularly in the field of artisanal mining. Only a few studies (Ngom *et al.*, 2022, 2020; Barenblitt *et al.*, 2021; Forkuor *et al.*, 2020) have utilised GEE for gold mining research in West Africa.

These studies have provided valuable insights into the environmental impacts of artisanal mining activities, but an analysis over a longer period would allow a deeper understanding of the long-term dynamics of artisanal mining. This would provide a solid foundation for sustainable management strategies and effective regulatory policies, better suited to the long-term dynamics of artisanal mining in Guinea and other regions of West Africa.

Mapping was carried out in two stages: an initial classification was performed using the full set of land use and land cover classes; a second classification focused solely on mining areas, including both artisanal and industrial mines.

General Classification

An initial classification considering all land use/land cover classes was conducted. It included the following main steps:

(i) Initially, satellite images were filtered to select scenes with the lowest possible cloud cover (5% cloud cover). Cloud masking was applied to eliminate cloudy pixels, allowing for the creation of cloud-free mosaics from captured images.

(ii) A supervised classification of the data using spectral bands (Landsat 7 bands B1, B2, B3, B4, B5, and B7 for the years 2012 and 2008, Landsat 8 bands B2, B3, B4, B5, B6, and B7 for the years 2023 and 2017), as well as various calculated indices, was carried out to extract classes from the time series. The

classification algorithms Random Forest (RF) and Support Vector Machine (SVM) were compared to choose the most suitable one. These classifiers have already proven their effectiveness in several studies in the West African sub-region (Ngom *et al.*, 2022; Nyamekye *et al.*, 2021). Eighty percent (80%) of the training points were reserved for the classification, while 20% were dedicated to evaluating accuracy. Thus, land use and land cover maps including all classes were produced.

(iii) Accuracy assessment – We evaluated the accuracy of the classifications using a confusion matrix, overall accuracy (OA), and the Kappa coefficient. The confusion matrix includes commission and omission errors based on validated samples. Commission errors refer to pixels that were incorrectly classified as belonging to a certain class when they do not. Omission errors designate pixels that were omitted from their correct class in the classified map (Lewis and Brown, 2001). The Kappa coefficient provides a measure of agreement between the predicted and reference classes, taking into account the probability of random agreement (Foody, 2002). Overall accuracy represents the percentage of pixels correctly classified relative to the total number of pixels evaluated. These measures allow an evaluation of the performance of the used classification models, highlighting areas needing improvement and ensuring an accurate representation of land use classes.

Specific Classification of Mining Sites

A second classification was carried out solely on the mining class, which included both industrial and artisanal mining operations. Although the industrial mines in the area are no longer active, operated by the company holding the mining title, the two types of mines exhibit different characteristics in terms of structure, texture, and elevation. These characteristic differences allow for their distinction. Thus, we subtracted the digital elevation model (DEM) produced by SRTM from that produced by TanDEM-X to estimate the relative changes in surface elevation (figure 17). Additionally, using the NIR band of Landsat 8, we calculated entropy and contrast based on the grey-level co-occurrence matrix (GLCM). These data were combined with distinct validation data produced from high-resolution satellite imagery to train the classification using only the RF algorithm, which showed better classification performance compared to SVM. This method of stacking auxiliary data layers has been used to distinguish industrial mines from

artisanal mines in previous studies (Barenblitt *et al.*, 2021). The classification results were then exported from GEE to the QGIS software version 3.36.1 for an evaluation of the spatial footprint and analysis of the expansion rate. The figure 17 presents the result.

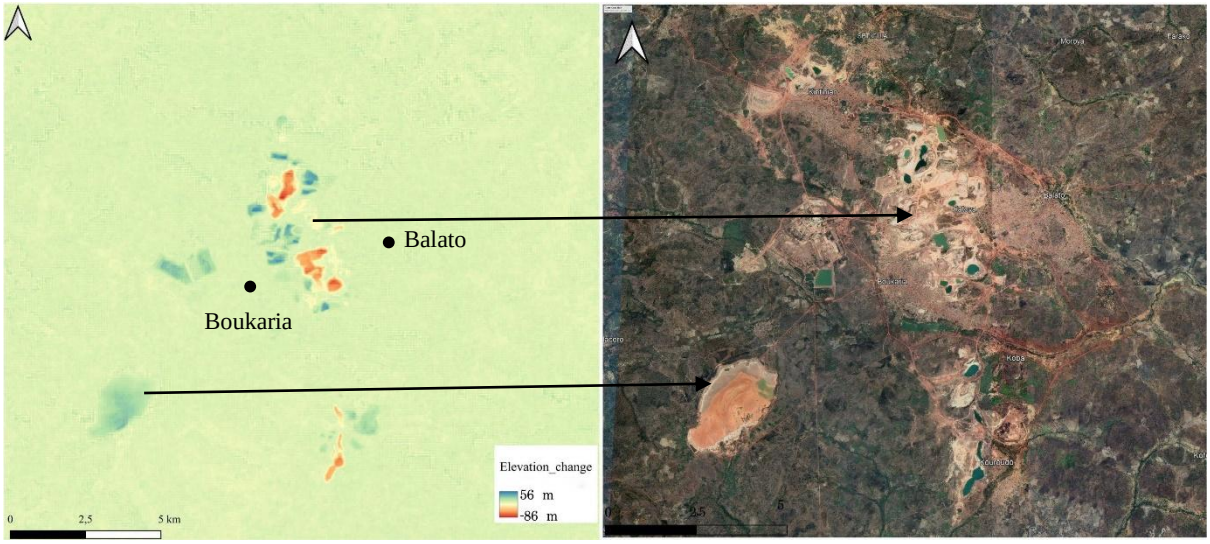


Figure 18 : Elevation change produced by the difference between SRTM and TanDEM-X DEMs, clearly identifying the industrial mine on the Google Earth Pro image.

Evaluation of Expansion

The approach used to analyse the expansion of artisanal mining involved manually editing the maps in QGIS. This editing involves extracting the "artisanal mining" class, vectorising, and correcting misclassified areas. Google Earth Pro was utilised to verify the separation of industrial from artisanal mining. For the change analysis, area statistics were calculated for each individual polygon, a comparison of the "before" and "after" states was conducted, and the average annual rate of spatial expansion was calculated. The average annual rate of spatial expansion is an indicator for understanding the spatial dynamics of an activity like artisanal mining (Hassan *et al.*, 2016). It thus allows for the assessment of growth trends and the forecasting of potential environmental impacts. The formula used to calculate this rate was adapted from (Hassan *et al.*, 2016):

$$Ta = [(\ln_{S2} - \ln_{S1}) / ((t_2 - t_1) \times \ln e)] \times 100.$$

Where:

- S1 and S2: Area of the mining site at times t1 and t2 respectively;
- t2-t1: Number of years of evolution;
- \ln: Natural logarithm;
- e: Base of the natural logarithm (e = 2.71828).

5.2.3. Results

Results of the Models

The RF and SVM models were used to map artisanal mining. The mapping results generated by both algorithms are presented in Figure 18 for the base year. Tables 2 and 3 present the results of the confusion matrices for both algorithms. The obtained Kappa coefficients exceed 84%, indicating a concordance between the classified pixels and the reference data. The scores obtained by the RF and SVM algorithms exceed 90%, demonstrating high accuracy in image classification.

The results show that the RF algorithm produced an overall accuracy (OA) of 96% and a Kappa coefficient of 0.944, while the SVM algorithm achieved an OA of 91% and a Kappa of 0.926. These results indicate that RF surpasses SVM in terms of overall accuracy. The superior performance of RF observed in this study confirms the findings of Nyamekye *et al.,* (2021) that RF provides better OA than SVM when the training sample size is sufficiently large. The efficiency of RF can be attributed to its ability to handle large data volumes and reduce overfitting effects by effectively selecting the most relevant spectral variables (Rodriguez-Galiano *et al.,* 2012).

The observed confusions between mining sites and urban areas, where some pixels were incorrectly classified, underline the challenges of classification in complex environments. These errors may be due to spectral similarities between the surfaces of mining sites and urban structures (Forkuor *et al.,* 2020). The figure 18 presents of the land use and land cover.

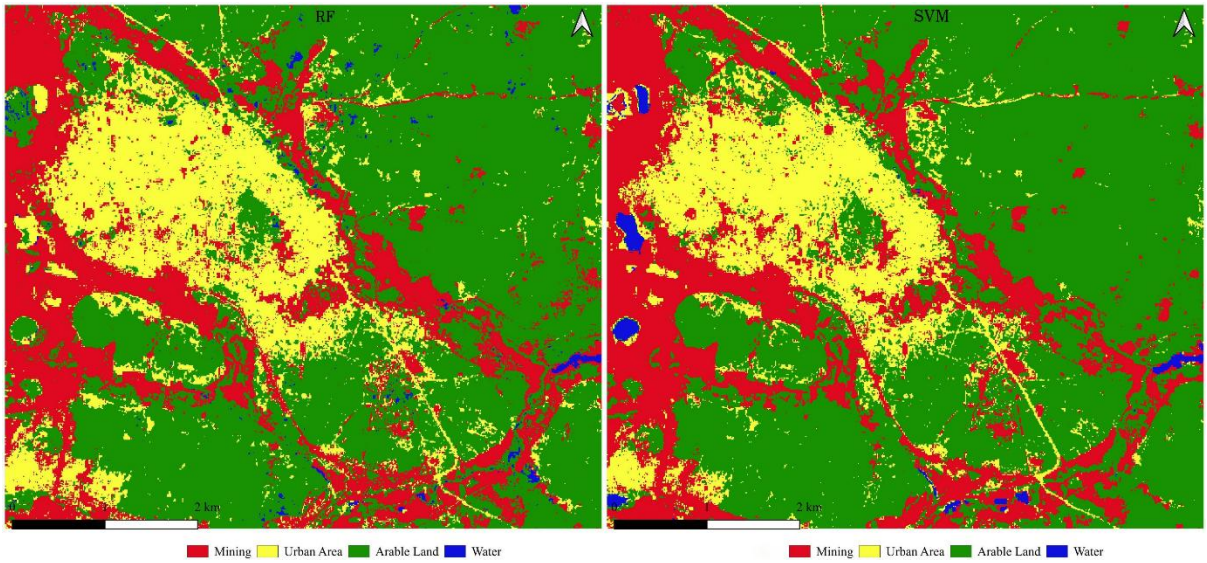


Figure 19 : Results of the land use and land cover mapping for the year 2023.

Tableau 3 : Confusion Matrix of Random Forest (RF)

	Reference Data					
Classified Pixels		ASGM	Urban Area	Arable Land	Water	Total
	ASGM	**189**	0	0	0	189
	Urban Area	0	**406**	0	0	406
	Arable Land	2	1	**241**	0	244
	Water	0	0	2	**11**	13
	Total	191	407	243	11	**852**

According to the RF confusion matrix, out of 191 pixels corresponding to ASGM according to reference data, 189 pixels were correctly classified as ASGM, while only 2 pixels were classified as arable land.

Tableau 4 : Confusion Matrix of SVM for the year 2023

	Reference Data					
Classified Pixels		ASGM	Urban Area	Arable Land	Water	Total
	ASGM	**152**	11	10	0	173
	Urban Area	10	**273**	8	0	291
	Arable Land	3	10	**330**	0	343
	Water	1	1	7	**11**	20
	Total	166	295	355	11	**827**

According to the SVM confusion matrix, out of 166 pixels corresponding to ASGM according to reference data, 152 pixels were effectively classified as ASGM, while 10 pixels were classified as urban area, 3 pixels as arable land, and 1 pixel as water.

Expansion and Temporality

Using the 2023 map as the reference, we followed the same procedure to map the years 2017, 2012, and 2008. This method allowed us to examine the evolutions and trends of artisanal gold mining by comparing the results from each period.

Our analysis revealed a significant expansion of artisanal gold mining activity, with varying growth rates during the studied period. This expansion is characterised by strong growth between 2008 and 2012, more moderate expansion between 2012 and 2017, and a notable slowdown between 2017 and 2023.

Between 2008 and 2023, the area of artisanal mining sites increased from 68 hectares to 1324 hectares. The fastest growth period was observed between 2008 and 2012, where the area sextupled from 68 hectares in 2008 to 467 hectares in 2012. This growth dynamic continued until 2017, reaching an area of 1143 hectares, before reaching at 1324 hectares in 2023.

The average annual rates of spatial expansion also varied during the periods studied. Between 2008 and 2012, the expansion rate was 48%. This rate decreased to 18% during the 2012-2017 period, before reaching 2.5% in 2023. This trend suggests an initial rapid intensification of artisanal gold mining, followed by stabilisation and a slowdown in growth. Table 4 presents the area estimates for each period and their expansion rates.

Tableau 5 : Area and average annual rate of spatial Expansion

Year	Area Estimate (ha)	Rate (%)
2008	68	
2012	467	48
2017	1143	18
2023	1324	2,5

Continuous Exploitation and Environmental Impacts

The analysis of the evolution of gold mining sites from the various maps produced reveals development patterns in artisanal mining expansion. These are characterised by two major trends: the increase in the number of extraction sites and the reuse of existing sites. Between 2008 and 2023, artisanal mining experienced notable growth, not only in terms of the number of active sites but also in terms of the extent of these sites. New sites have emerged and expanded over time, while older sites have also seen their area increase. These mining development patterns indicate a persistent trend towards continuous and increasing exploitation. The various maps from different dates are presented in Figure 19.

The analysis also highlights the concentration of mining activities along lowlands and streams. These areas, due to their accessibility and the presence of water, become preferred targets for mining activities.

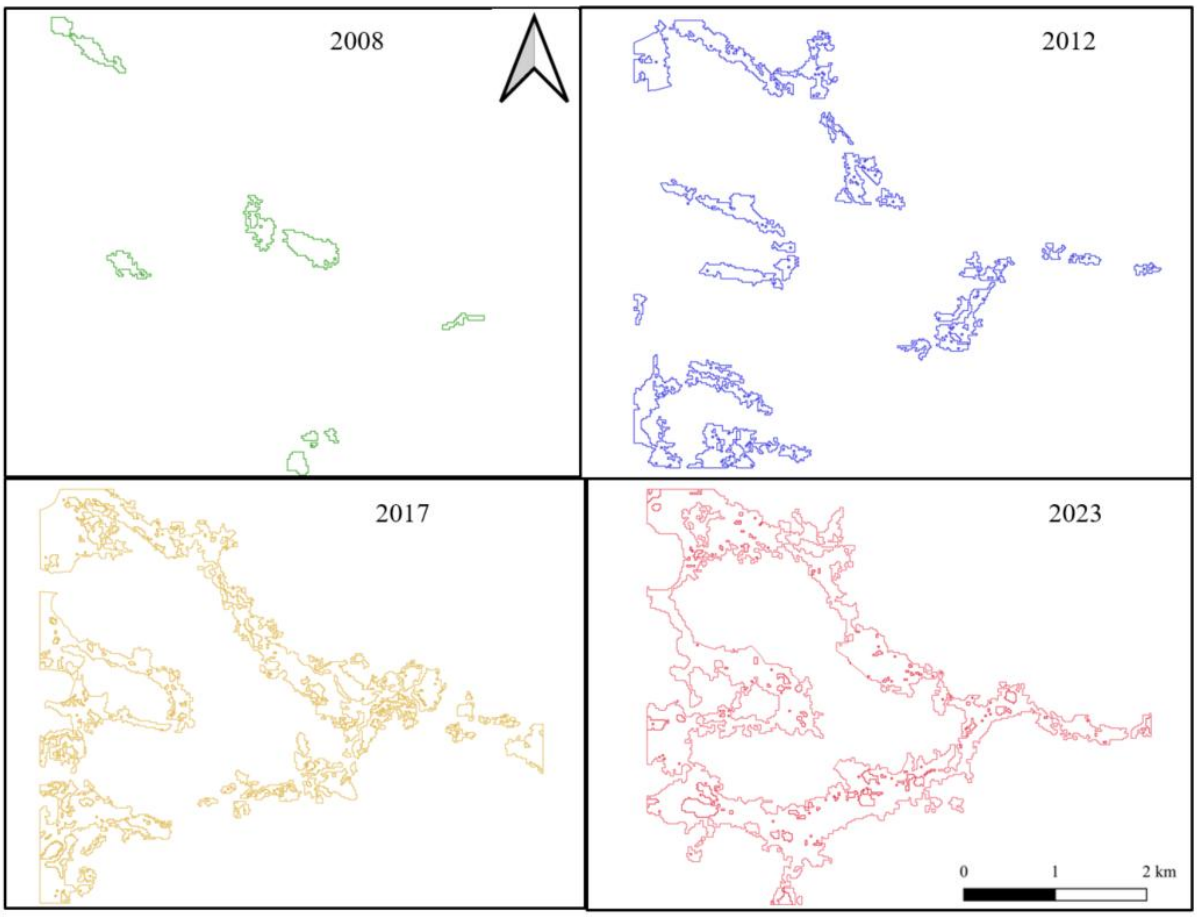


Figure 20 : Expansion of gold mining

Mining developments in the study area has brought about some improvements. Over the study period, the village experienced considerable spatial expansion in terms of area, to the point of merging the villages of Balato and Fatoyah. Mining development has also led to many constructions now being made of bricks, reflecting a certain modernisation of local infrastructure. However, these benefits must be considered in light of the environmental impacts that accompany this mining expansion.

The expansion of artisanal mining has significant environmental implications. Among the direct consequences of this expansion are deforestation, soil degradation, and watercourse pollution (Ngom *et al.*, 2023; Barenblitt *et al.*, 2021). The intensification of artisanal mining activity suggests an increasing demand for water and land. Between 2008 and 2012, the rapid growth of mining sites led to rapid vegetation destruction and soil degradation. The continuous reuse of these sites leads to profound soil degradation.

This degradation makes the rehabilitation of mining sites difficult, compromising the possibility of restoring these lands for future agricultural uses (Hilson, 2016). It also exacerbates soil erosion and the loss of fertility (Rodriguez-Galiano *et al.*, 2012).

A critical aspect of this expansion is the concentration of mining activities along streams, which has caused the destabilisation of wetland areas. The use of technologies such as crushers and sluices consumes large amounts of water and discharges muddy waters and sediments directly into rivers. This contributes to the alteration of water quality and the drying up of some of these rivers.



Figure 21 : Visible environnemental impact of gold mining

5.2.4. Discussion

Limitations of Our Models

Although our models have successfully mapped and analysed the expansion of artisanal gold mining, they exhibit certain limitations. First, due to significant cloud cover in the region, only a few images were available for our study. This compromises the accuracy of classification when dealing with a large area. Future studies could expand the area to include the entire Siguiri prefecture using high-resolution images, such as those provided by Planet. Additionally, mining areas located in plantations, where sunlight barely penetrates, can be confused with vegetation. The use of Landsat satellite data, with a 30-meter resolution, may also lead to an underestimation of the actual extent of artisanal mining activities, as this resolution may not be sufficient to detect smaller operations.

Dynamics of Artisanal Gold Mining

The overall trends observed in this study have demonstrated the recent development of artisanal gold mining in Guinea. The area of gold mining sites has seen a 2000% increase between 2008 and 2023. The period from 2008 to 2012 represents the fastest evolution phase, marking the beginning of intensive development of artisanal gold mining in many rural areas of Guinea. Despite the long history of this activity and the resulting environmental degradation, few studies have focused on these aspects using satellite data. Our study confirms the findings of (Sylla *et al.*, 2017), who highlighted the recent artisanal mining development in Guinea through field surveys. They concluded that 60% of mining sites experienced growth in terms of area.

Studies in the sub-region have highlighted mining development over similar periods using remote sensing techniques (Ngom *et al.*, 2022; Barenblitt *et al.*, 2021; Snapir *et al.*, 2017). For example, Barenblitt *et al.*, (2021) assessed the loss of vegetation due to artisanal gold mines in southwestern Ghana from 2005 to 2019 using a time series of Landsat images. They observed a significant increase in the extent of mining areas, with 47,000 ha of vegetation converted to mining at an average increase of 2600 ha per year. Similarly, Snapir *et al.*, (2017) found that the extent of illegal mining areas tripled between 2011 and 2015, increasing from 109 km² in 2011 to 233 km² in 2013 and 367 km² in 2015. Although the study areas and extents are

not the same, a similar conclusion emerges from their results and ours: there is an upward trend in the extent of artisanal mines.

Expansion and Impact of Governmental Interventions

While mining expansion was significant during the study period, the average annual rate of spatial expansion decreased over time, from 48% to 18% in 2017, and then to 2.5% in 2023. The reduction in the expansion rate, despite the increase in area, could be attributed to government interventions between 2015 and 2016, which included "eviction" operations of artisanal miners (Dessertine, 2021, 2019). These operations aimed to control artisanal mining activities by limiting their itinerant mobilities (Bolay, 2016b, 2016a). The consequence of these events was the stabilisation of mining activities, leading to the exploitation of the same areas (Dessertine, 2021). Although the areas increased, the pace of expansion was slowed by government actions. Our study contradicts other research that showed little impact of these actions on the expansion of artisanal mining activity (Nyamekye *et al.*, 2021). However, the decrease in the pace of expansion does not mean an end to environmental impacts. The stabilisation of mining activities has led to over-exploitation and ongoing environmental degradation, thus limiting restoration possibilities.

5.2.5. Conclusion

This study analysed the spatiotemporal dynamics of artisanal mining in the historical Bouré region. The study highlighted significant mining development during the study period. Through the use of remote sensing and Geographic Information Systems (GIS), we were able to identify and quantify mining activity areas over time. Our results show a marked increase in the area of gold panning sites, from 68 hectares in 2008 to 1324 hectares in 2023, with a particularly rapid growth period between 2008-2012. The introduction of mechanised techniques was a key factor in this expansion. The adoption of more advanced technologies enabled more intensive exploitation. Our results also show that this expansion has significant environmental implications. Mining activities have contributed to deforestation, soil degradation, and alteration of watercourses. These impacts are exacerbated by the continuous exploitation of the same areas.

The findings of this study underline the need for diversification of management and regulatory strategies for artisanal mining while supporting the economic development of local communities. Advanced remote sensing technologies and GIS could provide valuable assistance in assessing and preventing environmental degradation. Given that this study focused on the spatial dynamics of a specific area, future studies could be expanded to cover the entire Siguiri prefecture or the country, or involve local communities.

Acknowledgements

This study has received financial support from the IRD/ACE Partners and Agence Française de Développement (AFD) programme and the IMT Institut Mines Télécom foundation /Chaire de Recherche et de Formation "Industrie Minérale et Territoires".

5.3.Discussion / Conclusion : des limites de la télédétection pour accompagner la formalisation du secteur

L'exploitation artisanale de l'or est une activité mobile – les sites s'ouvrent et se ferment au gré des mobilités des mineurs artisanaux. Cette dynamique rend particulièrement difficile le suivi de l'activité par les autorités administratives, qui ne peuvent assurer une présence régulière sur le terrain. Par ailleurs, les activités ont lieu dans des zones souvent reculées et éloignées des centres de prises de décision. Par exemple, la préfecture de Siguiri se trouve à environ 800 km de la capitale Conakry. Dans ces territoires, les services déconcentrés manquent souvent des ressources logistiques et humaines nécessaires à un contrôle efficace des activités minières.

Dans ce contexte, la télédétection et les systèmes d'information géographique apparaissent comme des outils complémentaires susceptibles d'appuyer les instances décisionnelles. En fournissant des données fiables et actualisées sur les impacts environnementaux de l'orpaillage à des échelles spatiales et temporelles étendues, ces technologies constituent, pour elles, des instruments précieux pour promouvoir une gestion plus durable du secteur. Cependant, cette nouvelle technologie rencontre des limites qui questionnent sa capacité à accompagner une réelle formalisation du secteur.

5.3.1. Des limites techniques de la télédétection : quelle fiabilité pour un suivi précis de l'EMAPE ?

La télédétection est un champ de recherche en plein développement. Les techniques actuelles ne permettent pas d'obtenir une précision d'analyse suffisante sur certains aspects et peuvent donc entraîner des erreurs d'interprétation. D'une part, la similarité des signatures spectrales de certains éléments de surface peut engendrer des erreurs de classification et mener à des interprétations erronées. Il est notamment nécessaire d'améliorer la capacité à distinguer les sites en cours d'exploitation de ceux qui ont été abandonnés, ce qui requiert l'utilisation d'images satellitaires à très haute résolution. Or, l'accessibilité à ces données demeure un enjeu majeur, celles-ci n'étant pas encore largement disponibles en accès libre. Cette contrainte explique l'usage encore dominant de capteurs à moyenne résolution dans les études récentes sur l'orpaillage en Afrique (Moomen *et al.,* 2024; Ngom *et al.,* 2023). D'autre part, la fiabilité des résultats dépend largement des choix méthodologiques effectués par les analystes, ce qui souligne la nécessité de vérifier ces résultats avant d'élaborer des politiques publiques sur cette seule base (Giuliani *et al.,* 2022).

5.3.2. Des questionnements éthiques : usages des données de la télédétection et rapports de force

Au-delà de ces limites techniques qui seront amenées à être repoussées progressivement, au fur et à mesure des travaux de recherche et développement menés sur les outils de télédétection, il convient de s'attarder un instant que les questionnements éthiques que l'usage de la géomatique soulève dans la gestion et la volonté de formalisation de l'EMAPE. En effet, il y a fort à parier que l'usage des technologies de télédétection à des fins de surveillance environnementale peut conduire à une « cartographie de la criminalité », privilégiant une approche répressive au détriment d'une démarche participative avec les communautés locales, ce qui risque d'exacerber les conflits socio-environnementaux (Giuliani *et al.,* 2022). De plus, les techniques de télédétection requièrent des compétences spécifiques, généralement maîtrisées par les milieux académiques et généralement absentes au sein des communautés locales et des organisations de mineurs artisanaux. Nous assistons à une configuration classique où les savoirs technologiques sont détenus par des scientifiques et des experts en excluant, par le dispositif technique choisi, les savoirs locaux

détenus par les autorités coutumières, les orpailleurs et les habitants des sites concernés. Le choix de la télédétection, comme outil de suivi et de gestion de l'EMAPE, entraîne ainsi des dynamiques des biais significatifs dans ce qui est pris en compte, ce qui est considéré comme important, en excluant le point de vue des populations locales. Ce déséquilibre du rapport de force, qui se joue ici autour de la production des savoirs de l'EMAPE (son étendue, son évolution et de ses conséquences) limite donc, de fait l'implication des parties prenantes locales dans les dispositifs de suivi environnemental et, donc, dans la définition des politiques publiques orchestrées autour de la « formalisation » et de la « modernisation » du secteur. Plusieurs travaux en sciences sociales ont montré que lorsque les outils de mesure, comme la cartographie, sont perçus comme imposés de l'extérieur, sans discussion ni appropriation locale, ils peuvent susciter des sentiments d'injustice, de surveillance ou d'instrumentalisation. C'est notamment le cas lorsque les cartes produites à des fins de régulation sont ensuite utilisées pour appuyer des opérations de déguerpissement ou des restrictions d'accès aux ressources, sans que les populations n'aient été informées ni consultées (Gagnol *et al.,* 2023 ; Andriamasinoro *et al.,* 2020). Dans ce contexte, la télédétection peut donc contribuer à affaiblir la confiance des acteurs locaux envers les experts, les chercheurs ou les institutions gouvernementales, en apparaissant non comme un outil de connaissance partagée, mais comme un instrument de contrôle unilatéral.

Comme nous avons pu le rappeler à plusieurs reprises, de nombreuses études montrent qu'il est pourtant essentiel d'impliquer les parties prenantes locales dans la production sociopolitique des nouvelles règles, pratiques et normes et ainsi favoriser une transition vers des pratiques plus durables (Gagnol *et al.,* 2023 ; Andriamasinoro *et al.,* 2020 ; Labonne, 2014 ; Charles *et al.,* 2013 ; entre autres). La question qui occupera la dernière partie de ce manuscrit de thèse porte précisément sur la façon d'intégrer le regard des communautés locales dans l'analyse des dynamiques de l'orpaillage et plus globalement, le rôle de la cartographie des données de l'EMAPE pout la transformation durable du secteur.

Chapitre VI : Cartographie participative et empowermnent des acteurs locaux pour une transformation des pratiques de l'EMAPE

CHAPITRE VI : CARTOGRAPHIE PARTICIPATIVE ET EMPOWERMENT DES ACTEURS LOCAUX POUR UNE TRANSFORMATION DES PRATIQUES DE L'EMAPE

6.1. Introduction

Dans la continuité d'une approche critique et constructive de l'usage de la géomatique, et de la télédétection en particulier, dans les politiques de « formalisation » et de « modernisation » de l'EMAPE, ce sixième chapitre présente les travaux menés en vue de répondre à nos derniers questionnements de recherche : comment intégrer les perceptions des acteurs locaux dans l'analyse des dynamiques de l'orpaillage afin de favoriser une transformation des pratiques dans ce secteur ? Comment la cartographie peut-elle contribuer à l'empowerment des orpailleurs ?

6.1.1. L'enjeu de la rupture de confiance entre acteurs institutionnels et acteurs locaux

Des recherches révèlent une corrélation entre la criminalisation des mineurs artisanaux et plusieurs dynamiques négatives : l'intensification des conflits entre les communautés minières et les grandes entreprises, ainsi que l'érosion de la confiance envers les autorités gouvernementales (Nyamekye *et al.,* 2021 ; Gallwey *et al.,* 2020 ; Spiegel, 2015, 2014, 2009 ; Spiegel *et al.,* 2015). Ainsi, la question du rapport de confiance entre acteurs locaux et acteurs institutionnels apparaît comme un enjeu majeur pour restaurer un espace de dialogue autour des politiques de « formalisation » et de « modernisation » du secteur, en repensant notamment la place des autorités coutumières dans l'accompagnement de la transformation des pratiques. Ce qui se joue en particulier, c'est la reconstruction d'un rapport de confiance autour de la production des savoirs et des connaissances sur l'EMAPE, la construction d'un espace de dialogue entre les savoirs experts détenus par les acteurs institutionnels, et les savoirs locaux détenus par les autorités coutumières, les orpailleurs et les habitants des territoires orpaillés.

6.1.2. La cartographie comme espace de dialogue retrouvé

Jusqu'à présent, en excluant de fait les populations locales, l'usage de la géomatique, et de la télédétection en particulier, joue plutôt le jeu d'un déséquilibre dans ce rapport de confiance. Notre parti pris est de questionner en quoi la cartographie peut construire un espace de dialogue favorisant la circulation des savoirs entre expertises scientifiques, institutions et parties prenantes locales, contribuant ainsi à restaurer un climat de confiance favorable à une reprise des explorations sur les transformations durables des pratiques de l'EMAPE.

Ce chapitre vise ainsi à rendre compte d'une expérimentation de cartographie participative appliquée au contexte minier, en tant qu'outil de mise en dialogue entre représentations institutionnelles et représentations locales de l'évolution des dynamiques territoriales de l'EMAPE. Dans la pratique, nous constaterons que les différents groupes sociaux impliqués dans l'EMAPE (acteurs institutionnels d'un côté, acteurs locaux, de l'autre) développent des perceptions contrastées. L'identification et l'analyse de ces représentations constituent donc une étape essentielle pour mieux appréhender les principaux enjeux à intégrer dans les processus de communication, de sensibilisation et de transformation des pratiques. Cette démarche est fondamentale pour atténuer les impacts négatifs de l'exploitation aurifère artisanale et favoriser une gestion plus concertée des ressources. L'article qui suit est en cours de soumission.

6.2. Article 3 : Transformation des pratiques d'orpaillage : l'usage de la cartographie participative pour analyser les représentations des acteurs locaux

7. Ibrahima Kalil Doumbouya [a], Juliette Cerceau [a], Anna Dessertine [b], Marc Vinches [a]

8. [a] *Hydrosciences Montpellier, Univ Montpellier, IMT Mines Ales, IRD, CNRS, Ales, France – 6 avenue Clavières, 30 319 Alès Cedex, France.*

9. [b] *IRD-UMR PRODIG, Aubervilliers, France/Institut National d'Aménagement et d'Urbanisme (INAU), Rabat, Maroc*

Résumé

L'exploitation aurifère, en particulier l'intensification de l'exploitation minière artisanale et à petite échelle de l'or est le principal facteur non agricole de la dynamique territoriale dans les zones rurales dans de nombreux pays d'Afrique subsaharienne. Les enjeux de transformation de ces pratiques vers des pratiques

plus durables appellent à une intégration des mineurs artisanaux à la gestion de ses impacts environnementaux et sociaux.

L'objectif de cet article est de rendre compte d'une expérimentation de cartographies participatives menée en contexte minier, comme support à l'analyse des représentations que se font les acteurs locaux de la dynamique spatiale de l'EMAPE, en Afrique de l'Ouest et son impact sur l'utilisation et la couverture des terres, à la fois dans le passé et dans le présent.

6.2.1. Introduction

ASGM et ses impacts environnementaux et sociaux

L'exploitation aurifère, en particulier l'intensification de l'exploitation minière artisanale et à petite échelle de l'or est le principal facteur non agricole de la dynamique territoriale dans les zones rurales dans de nombreux pays en développement (Baddianaah *et al.,* 2022; Boakye *et al.,* 2020; DeWitt *et al.,* 2017). L'expansion de cette activité et ses impacts environnementaux sont largement documentés (Barenblitt *et al.,* 2021; Antwi-Boateng et Akudugu, 2020; Pijpers, 2020; Wu *et al.,* 2019; Awotwi *et al.,* 2018). Cette activité contribue de manière significative à la déforestation, à la dégradation des sols et à la diminution de la biodiversité (Barenblitt *et al.,* 2021). En outre, l'EMAPE amplifie l'érosion des sols et augmente les concentrations de sédiments dans les cours d'eau (Abe *et al.,* 2019; Sonter *et al.,* 2014). Les pollutions des eaux aux métaux lourds, dues à l'utilisation des produits chimiques tels que le mercure et le cyanure lors du traitement du minerai, constituent une réelle menace pour la santé des communautés environnantes et bien au-delà (Adewumi et Laniyan, 2020; Arifin *et al.,* 2015; Telmer et Veiga, 2008). Cependant, cette intensification de l'activité d'orpaillage s'inscrit également dans un contexte de transformations multiformes, étroitement liées aux dynamiques globales, parmi lesquelles la forte croissance démographique constitue un facteur central, exacerbé par la persistance de la pauvreté et du sous-emploi structurel (Dessertine *et al*. 2024). L'exploitation minière artisanale trouve alors un terrain propice dans ces milieux en quête d'alternative économique (Hilson, 2016, 2009b; Seccatore *et al.,* 2014).

En Guinée, l'exploitation minière artisanale et à petite échelle (EMAPE) s'inscrit dans une histoire longue et profondément enracinée. Ce secteur, qui remonte à l'époque des grands empires médiévaux africains, a rapidement émergé comme une source essentielle de revenus pour des milliers de Guinéens vivant en milieu rural (Huntington et Marple-Cantrell, 2022; Stokes-Walters *et al.,* 2021; Diallo, 2017). Depuis le début des années 2000, l'orpaillage a considérablement évolué avec l'introduction de techniques mécanisées, notamment les détecteurs de métaux (Dessertine, 2016), l'amalgamation au mercure (Lanzano et Arnaldi di Balme, 2017), et le développement de petites mines à ciel ouvert informelles (Dessertine *et al.,* 2023). Ces innovations ont non seulement permis l'intensification de l'activité dans les zones aurifères historiques, mais aussi la découverte de nouveaux sites d'exploitation (Dessertine *et al.,* 2023).

Des défis de la réglementation de l'orpaillage artisanale

En réponse à cette intensification, des initiatives sont actuellement menées par les donateurs internationaux, les acteurs du développement et les autorités nationales en vue d'harmoniser l'exploitation minière artisanale et à petite échelle avec les cadres réglementaires formels, tout en œuvrant à la gestion de ses impacts environnementaux (Huntington et Marple-Cantrell, 2021). Des actions sont ainsi entreprises au nom de la protection de l'environnement, allant de simples campagnes médiatiques à la mobilisation de l'armée (Adams, 2019; Hilson, 2017; Bolay, 2016a). En Guinée, cette initiative de formalisation, ainsi que des réformes similaires désignées sous l'appellation de « couloirs d'orpaillage », visent à concentrer les activités des orpailleurs dans des zones spécifiquement dédiées, afin de faciliter la gestion des impacts environnementaux. Cependant, à l'instar de nombreux cas (Siwale et Siwale, 2017), ces efforts se sont révélés largement inefficaces. La plupart des actions entreprises pour améliorer l'efficacité environnementale des opérations d'extraction d'or artisanale se sont davantage focalisées sur la régularisation du secteur et l'organisation des activités pour laisser place aux sociétés minières à grande échelle (Dessertine et Noûs, 2021; Hilson, 2005).

En définitive, parmi les initiatives environnementales entreprises jusqu'à présent, aucune n'a réussi à provoquer une amélioration significative sur le plan environnemental. Le nombre d'exploitations

artisanales continue de croître à travers le pays, tandis que les sites existants sont exploités de manière intensive, aggravant ainsi leurs impacts sur l'environnement. En effet, ces activités contribuent à la déforestation, à la dégradation des sols, à la pollution de l'air par la poussière et à la disparition des cours d'eau. Par ailleurs, des centaines de puits abandonnés défigurent le paysage et constituent un danger pour les êtres humains et les animaux d'élevage.

Des études antérieures ont montré que les acteurs locaux sont conscients et même préoccupés par les impacts environnementaux (Cuya *et al.,* 2021). Cependant, ces communautés font également face aux tensions entre les avantages économiques de l'EMAPE et la préservation de l'environnement (Bansah *et al.*, 2018). Ces initiatives, loin de résoudre les problèmes (Osei *et al.*, 2021; Eduful *et al.*, 2020; Hilson et Maconachie, 2020), ont souvent contribué à élargir le fossé entre les mineurs artisanaux et les agents gouvernementaux (Andriamasinoro *et al.*, 2020; Stylo *et al.*, 2020). Par exemple au Zimbabwe, le processus de formalisation, présenté par les autorités nationales comme un outil destiné à améliorer la gouvernance de l'EMAPE, a été perçu par les mineurs artisanaux comme un outil de contrôle et de coercition (Spiegel, 2015). Or toute action ou initiative visant à influencer la perception, les attitudes ou les actions des individus nécessite une compréhension des connaissances et des attitudes de base pour que ces actions soient influentes (Bennett *et al.*, 2019). Smith *et al.,* (2016) soulignent ainsi l'importance de comprendre le contexte et les significations que l'EMAPE revêt pour ces personnes avant toute intervention.

Des enjeux de la recherche participative sur l'orpaillage et de l'intérêt de la cartographie participative

Face à ces enjeux, de nombreuses voix scientifiques et institutionnelles s'élèvent désormais pour plaider en faveur d'une participation active des mineurs artisanaux et des communautés locales aux recherches menées sur l'orpaillage ainsi qu'à la gestion de ses impacts environnementaux et sociaux (Cerceau *et al.*, 2024; Andriamasinoro *et al.*, 2020; Stylo *et al.*, 2020; Friendship et Furgal, 2012). Seto et al. 2020 recommandent par exemple la consultation et la participation des populations locales et des mineurs dans la collecte des données environnementales pour une meilleure mise en œuvre de la convention Minamata. Il s'agit de s'inscrire en rupture avec les travaux qui tendent à minimiser ou à ignorer la richesse des pratiques et des

savoirs coutumiers (Bartolucci *et al.,* 2022), limitant ainsi le potentiel d'approches véritablement inclusives. La sensibilisation des mineurs artisanaux, combinée à une coordination renforcée entre les agences gouvernementales et les communautés locales, constitue une voie prometteuse pour atténuer les perturbations générées par cette activité (Cerceau *et al.,* 2024).

L'intensification de l'EMAPE revêt une diversité de formes et d'interactions avec le territoire. En Afrique de l'Ouest, cette intensification se traduit par une pluralité de dynamiques, notamment des transformations techniques, une croissance démographique, des modifications des usages des terres, ainsi que des perceptions contrastées de l'activité minière. Ces évolutions témoignent d'interactions complexes avec le territoire, caractérisées par des impacts environnementaux significatifs et des représentations sociales ambivalentes. Dans ces territoires, à forte identité culturelle minière, comprendre les opinions des communautés sur les changements d'utilisation du foncier et de la couverture des terrains, ainsi que leurs répercussions, pourrait donc jouer un rôle déterminant dans la promotion de la durabilité de l'EMAPE (Cuya *et al.,* 2021; Bennett *et al.,* 2017).

Les méthodes d'analyse spatiale de l'expansion de l'orpaillage reposent principalement sur l'interprétation d'images satellitaires (Moomen *et al.,* 2024, 2022; Ngom *et al.,* 2023). Ces approches, ancrées dans une épistémologie positiviste, se concentrent essentiellement sur les aspects visibles de l'EMAPE, tels que la dégradation environnementale, tout en négligeant souvent les dimensions culturelles, sociales, économiques, ainsi que les perspectives des acteurs concernés. Dans de nombreux contextes, la cartographie participative se révèle être un outil pertinent pour opérationnaliser les approches participatives, impliquer les populations concernées et recueillir les représentations locales. Reconnue comme un levier pour la mise en œuvre d'approches participatives, la cartographie participative vise à autonomiser les groupes marginalisés en leur offrant une plateforme pour exprimer leurs perceptions et priorités (Amelot, 2013; Chambers, 2006). Elle permet notamment aux communautés de représenter la vulnérabilité perçue d'un lieu donné ainsi que son exposition aux risques potentiels (Bartolucci *et al.,* 2022; Gaillard et Maceda, 2009). La cartographie participative est ainsi couramment utilisée pour répondre à différents enjeux, tels

que le renforcement des organisations politiques autochtones, le développement de la planification économique et de la gestion des ressources naturelles, ainsi que la documentation de l'histoire et de la culture locale afin de préserver et valoriser les identités culturelles, Elle repose sur une représentation visuelle des ressources, des caractéristiques physiques, socioculturelles et naturelles identifiées par les membres de la communauté comme faisant partie intégrante de leur environnement, enrichies par des récits (Corbett, 2009). L'utilisation de supports visuels accessibles est souvent associée à des entretiens individuels ou collectifs et à des discussions interactives (Emmel, 2008). La production de ces cartes constitue non seulement un témoignage de la perception qu'ont les communautés des changements de leur environnement, mais également une base pour sensibiliser les acteurs locaux, encourager l'action collective et instaurer une gouvernance inclusive qui intègre leurs points de vue (Aggrey *et al.,* 2021; Asubonteng *et al.*, 2021; Somuah *et al.*, 2021).

La cartographie participative peut donc être un outil concret pour sensibiliser les communautés aux enjeux de gouvernance de l'orpaillage, en mettant en avant la représentation de leurs intérêts (Anau *et al.,* 2003). Elle permet de cartographier les zones d'intérêt de chaque groupe social ainsi que les ressources essentielles à leur mode de vie, facilitant ainsi leur intégration dans la prise de décision concernant l'activité. En tant qu'outil de dialogue, elle favorise les échanges entre les mineurs et les autres acteurs impliqués. Dans les contextes miniers, les études qui explorent la manière dont les communautés locales perçoivent les dynamiques spatiotemporelles à travers des outils tels que la cartographie participative, demeurent rares. Les travaux d'Aggrey *et al.,* (2021) constituent l'une des rares exceptions dans ce domaine. Ces auteurs ont analysé la perception des dynamiques spatiales dans le passé, le présent et une perspective sur le futur, des communautés locales dans un paysage en expansion minière artisanale au Ghana. Les participants aux ateliers, composés d'agriculteurs et de mineurs artisanaux ont cartographié la couverture et l'utilisation des terres sur la base d'une carte montrant les différents éléments de la couverture des terres du moment.

Cet article se concentre principalement sur les implications spatiales de l'expansion des activités de l'EMAPE dans une zone rurale, le district de Siguiri, en Haute-Guinée, du point de vue des communautés locales, des orpailleurs et des acteurs institutionnels.

L'objectif de cet article est de rendre compte d'une deuxième expérimentation de cartographies participatives menée en contexte minier, comme support à l'analyse des représentations que se font les acteurs locaux de la dynamique spatiale de l'EMAPE, en Afrique de l'Ouest et son impact sur l'utilisation et la couverture des terres, à la fois dans le passé et dans le présent. Pour apporter une contribution aux réflexions menées sur les difficultés à mettre en place de nouvelles pratiques plus durables dans ce secteur, cette expérimentation de cartographie participative s'attache en particulier à rendre compte des divergences de représentations de ces dynamiques spatialisées entre parties prenantes de l'EMAPE, et notamment entre orpailleurs et acteurs institutionnels. Après avoir détaillé l'approche méthodologique développée dans le cadre de cette expérimentation, nous présenterons les principaux résultats des ateliers de cartographie participative menées avec les orpailleurs et les acteurs institutionnels et les discuterons à la lumière des enjeux de transformations durables des pratiques de l'EMAPE.

6.2.2. Matériel et méthode

La perception des dynamiques spatiales de l'orpaillage : cadre d'une application à Balato (Siguiri)

Le territoire de l'étude est un district de la sous-préfecture de Kintinia situé à 20 km du centre-ville de Siguiri. Il a été choisi pour la forte concentration de l'activité d'orpaillage, les impacts de l'activité et la pression humaine que subit le village. La pratique de l'exploitation minière artisanale de l'or est fortement enracinée dans les structures sociopolitiques et économiques locales, avec une forte implication des autorités coutumières notamment les sages. L'activité implique autant la population locale que les mineurs allochtones. Les ateliers ont été organisés dans la salle de conférence de la maison des jeunes.

D'un point de vue climatique, la région d'étude présente les caractéristiques typiques de la Haute-Guinée, avec un climat tropical chaud et sec de type soudano-guinéen. Ce climat est marqué par l'alternance de deux saisons : une saison sèche, pendant laquelle le climat subit l'influence de l'harmattan et une saison

pluvieuse. La région se distingue par quatre mois très pluvieux, de juin à septembre, deux mois humides ou intermédiaires, octobre et novembre et six mois considérés comme écologiquement secs, de décembre à mai. Les précipitations annuelles varient entre 1600 mm et 1200 mm. Les températures varient considérablement selon les saisons, oscillant entre 37°C pendant la saison sèche et 14°C durant la saison des pluies. Quant à l'occupation et l'utilisation des sols, la zone est principalement constituée de végétation de savane arbustive, de plantations essentiellement composée de manguiers et d'anacardiers, des zones minières (l'exploitation minière industrielle et l'exploitation minière artisanale), des infrastructures du village et des cours d'eau. Le principal cours d'eau de la région est le Koba, un affluent du fleuve Niger, auquel s'ajoutent deux ruisseaux Dambili et Faranin. Ces cours d'eau ont contribué à la formation de bas-fonds, qui représentent les principales zones actives pour l'exploitation artisanale de l'or dans la région. L'extraction artisanale de l'or, pratiquée de longue date, concerne principalement l'or alluvionnaire. A Kintinia, village proche, a lieu l'exploitation industrielle par la société AngloGold (SAG).

De l'usage de la cartographie participative pour rendre compte des perceptions des dynamiques spatiales de l'EMAPE

Nous faisons l'hypothèse que la cartographie participative est un bon outil pour capter les observations de l'évolution des dynamiques spatiales. Nous partons du principe qu'elle constitue une approche pertinent pour mettre en avant les points de vue des parties prenantes et ainsi comprendre les impacts de l'orpaillage qui peuvent soutenir la transformation des pratiques vers la durabilité.

Différentes méthodologies de cartographie participative existent, allant d'une approche impliquant l'ensemble des villages à des méthodes intégrant les SIG et la télédétection (Chapin *et al.*, 2005 ; Chambers, 2006). La cartographie participative est un ensemble d'outils visant à établir un processus de communication avec les populations, afin de mettre en œuvre des projets fondés sur les objectifs, perceptions et connaissances des populations locales. Il s'agit de faire émerger le savoir des populations sur leur territoire, savoir coutumier souvent ignoré. Les domaines d'application sont variés : gestion des terroirs, des ressources, risques naturels, création d'infrastructures ou d'équipements. Les opérateurs vont récolter les données par observation directe, mais surtout via un processus collectif de discussion, facilité

par divers instruments. C'est là qu'intervient la cartographie, parmi d'autres outils de visualisation et de dialogue (diagrammes de Venn, transects, calendriers, dessins, etc.). Son avantage principal est d'être facile à mettre en œuvre, peu coûteuse, directement reliée à une perception du territoire, et donc efficace pour réunir et présenter les données localisées, stimulante pour débattre.

Concrètement, un groupe d'acteurs se réunit avec pour objectif de dresser une carte. L'opération est faite parfois sur papier, mais le plus souvent au sol, sur un terrain ouvert et dégagé. Quelques points de repère suffisent au départ, puis la carte est construite par apport successif de marques et d'objets. La manière dont les villageois font la carte et ce qu'ils trouvent important fournissent les points de départ des échanges sur les aspects essentiels de la vie du village. La personne extérieure (le « facilitateur ») doit s'effacer, passer la main à la population. Les villageois sont encouragés à développer leurs propres capacités. Le biais visuel facilite la communication, ainsi que la réalisation en commun. Tous peuvent contribuer, sans que s'exercent les habituels rapports de domination, davantage présents dans la communication verbale. L'essentiel n'est pas la précision ou l'échelle, mais bien les informations qui révèlent les perceptions locales des frontières, de la disponibilité des ressources, de la vie sociale. Les cartes participatives sont de plusieurs types : carte du village, carte du territoire, carte de l'exploitation d'une famille. S'il semble y avoir eu des changements intéressants, il est possible de tracer des cartes supplémentaires montrant à quoi ressemblait le territoire autrefois, voire au moment de la fondation du village (Burini, 2006).

La cartographie participative géoréférencée (CPGR), en particulier, associe les cartes produites par les communautés aux coordonnées spatiales réelles grâce aux technologies comme les SIG (Systèmes d'Information Géographique), le GPS et la télédétection (R. & A.M., 2014; Kankeu et Tiani, 2014; Palsky, 2013). La CPGR a été choisie pour son caractère inclusif, permettant d'impliquer toutes les catégories de la population, y compris les personnes analphabètes, grâce à l'usage de supports visuels. Elle présente plusieurs avantages : réduction des coûts, gain de précision, rapidité et crédibilité (Palsky, 2013). Simple et efficace, la CPGR constitue un outil adapté à la réflexion collective et à l'apprentissage mutuel, favorisant une meilleure appropriation des connaissances par les communautés locales.

Kankeu et Tiani, (2014) détaillent les principales étapes de la mise en œuvre d'une recherche participative. Nous présentons dans la figure ci-dessous une adaptation de cette approche globale à notre méthode de terrain et en détaillons dans les sections suivantes les trois principales étapes : préparation, production et finalisation.

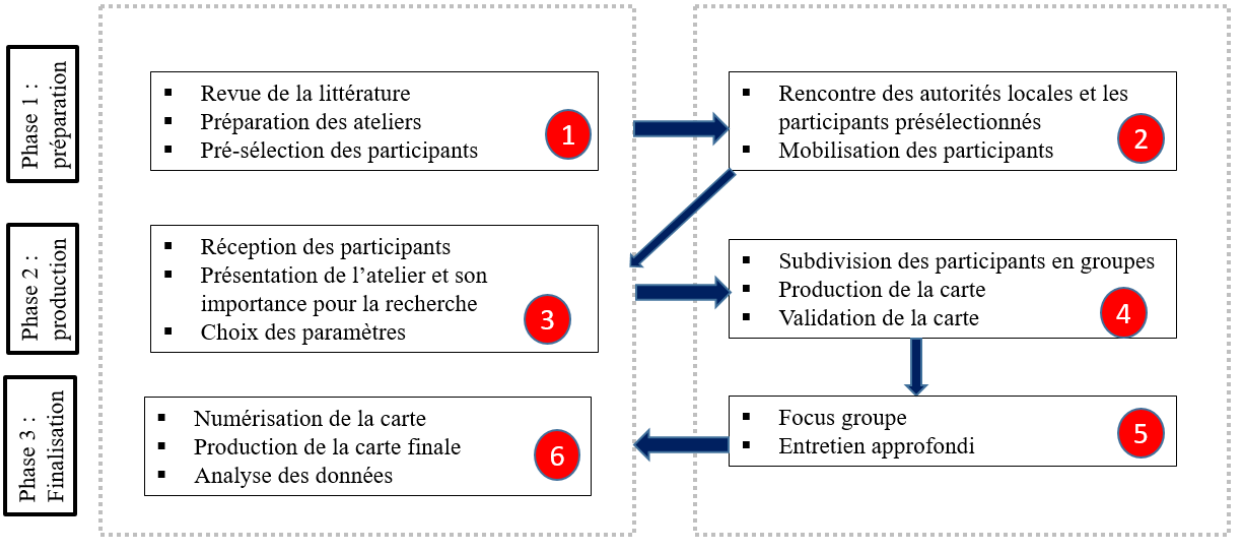


Figure 22 : Les principales phases et étapes de la cartographie participative adaptée de Kankeu et Tiani (2014)

Atelier de cartographie participative

Phase 1 : Préparation

Préparation des ateliers

Un ensemble de données provenant de diverses sources, notamment de nos missions antérieures et d'autres référentiels existants, a été collecté afin de préparer et d'optimiser le travail de terrain (Doumbouya *et al.*, 2024). Ces données comprenaient notamment des fichiers shapefile représentant le réseau routier et les principaux cours d'eau de la zone d'étude, ainsi que des points GPS géoréférencés des sites miniers et des plantations relevés lors de nos précédentes campagnes. Par ailleurs, une carte de base actualisée pour l'année 2024 a été générée à partir d'images issues de Google Earth Pro, puis imprimée en couleur sur papier A3 en plusieurs exemplaires afin de faciliter son utilisation sur le terrain. L'évolution de l'occupation de l'espace bâti a également été analysée à partir d'images satellitaires (préciser le type et la résolution spatiale). Enfin, cette phase préparatoire a permis de mobiliser des informateurs locaux, dont l'expertise a contribué à affiner l'approche cartographique adoptée.

Les outils utilisés pour l'exercice de cartographie comprenaient des marqueurs, des crayons, des gommes, des règles, des feuilles de papier A1, des crayons de couleurs, des papiers calques, une image Google Earth 2024 du village et ses environs, imprimée sur des feuilles de papier A3 pour servir de guide dans la cartographie.

Mobilisation des Participants

Une liste initiale de 12 participants avait été établie avant le jour des ateliers, basée sur 6 participants par groupe d'atelier. Cette sélection des participants a été effectuée en collaboration avec des facilitateurs locaux. Cependant, le jour de l'atelier, en raison de diverses contraintes, certains participants, ont dû se désister pour aller travailler. Pour garantir le principe d'engagement libre de participation, ces absents ont été remplacés par d'autres. Finalement, 13 participants (tous des hommes) ont pu être réunis pour les ateliers, sélectionnés en fonction de leur implication actuelle ou passée dans l'activité minière, ainsi que de leur volonté et de leur disponibilité à participer à l'étude. Le taux d'alphabétisation était élevé parmi la catégorie des acteurs institutionnels. Tous les participants résidaient au village depuis plusieurs années. En plus des participants, un observateur et un photographe étaient présents pour documenter les ateliers, l'animation étant assurée par le chercheur.

Tableau 6 : Caractéristiques des participants

Désignation	**Orpailleurs**	**Acteurs Institutionnels**
Nombre de participants	7 (1 tomboloma, 1 kaladjanti, 1 nyado, 2 croix rouge, 2 creuseurs)	8 (3 district, 2 jeunesse, 1 administration, 1 sage, 1 population)
Nombre de lettrés/illettrés	2/7	5/8
Répartition des âges	30-35 : 2 35-40 : 2 >40 : 3	30-35 : 4 35-40 : 1 >40 : 3

Lien avec les activités d'orpaillage	Source principale de revenu : 100%	Source principale de revenu : 4 Source secondaire : 3 Aucun : 1

Les participants ont été répartis en deux groupes : 7 orpailleurs (creuseurs, *kaladjanti*[6] ou extracteurs de minerai et membres du *tomboloma*[7]) et 8 représentants des autorités locales (représentants de la collectivité, de l'administration, du village) Bien que le *tomboloma* constitue un acteur de gouvernance dans l'EMAPE en Haute Guinée, nous avons choisi de le maintenir dans le groupe des mineurs, du fait notamment qu'il n'est une structure administrative publique. Par ailleurs, le code minier guinéen ne reconnait pas ces acteurs et dans la pratique, ils sont considérés comme mineurs. Cette répartition des participants entre groupe de mineurs et acteurs institutionnels se justifie au regard de notre problématique de recherche. En outre, dans la pratique, les regards posés sur l'orpaillage et les ressources aurifères en générale, par les administrateurs et par les mineurs artisanaux sont différents. Les premiers perçoivent l'activité comme destructrice de l'environnement et informelle qu'il faut à tout prix moderniser et formaliser. Les seconds, même s'ils n'ignorent pas les impacts environnementaux, pensent en termes d'impératifs socio-économiques et culturels. Pour ces raisons, il apparaît primordial de distinguer les différents points de vue sur le même objet. Cette taille de groupe représentait la taille optimale des groupes de participants aux ateliers telle qu'établie dans d'autres études de cartographie participative (Adebiyi et Olabisi, 2022; Aggrey *et al.*, 2021; Beaudoin *et al.*, 2016).

Phase 2 : production de la carte participative

Choix des éléments à cartographier

L'étude a commencé par une présentation de l'atelier, de ses objectifs et de son importance. Nous avons garanti aux participants que leur prénom serait rendu anonyme. Ensuite, la carte imprimée sur A3 a été partagée aux participants. Des informations leur ont été fournies pour les guider sur la manière de lire et de

[6] Les *kaladjanti* ou littéralement « chefs de la longue pioche » sont les mineurs les plus expérimentés.
[7] Institution coutumière locale qui organise l'accès au site et gère son fonctionnement.

produire une carte. Cette étape a permis aux participants de se familiariser avec la carte et de comprendre comment les éléments physiques sont représentés.

Un échange en groupe a ensuite été engagé pour choisir les éléments à cartographier, définir la temporalité et choisir les symboles représentant les différents éléments de la carte. Les participants ont convenu que 2010 serait l'année de référence pour la cartographie des dynamiques spatiales passées, car l'année 2011 marque une forte intensification des activités d'orpaillage dans le village en raison de la mécanisation croissante des techniques et la montée du cours de l'or. L'année choisie pour représenter la situation actuelle a été 2024. Pour chaque période, les participants discutaient des éléments à ajouter et de leur emplacement sur la carte.

Production des cartes

Contrairement aux approches classiques de cartographie participative où les participants identifient les types d'utilisation et de couverture des terres sur une carte de base contenant déjà tous les éléments, notre démarche visait à permettre aux communautés de s'appuyer sur leur connaissance du territoire pour en cartographier les caractéristiques et ainsi dégager les éléments d'attention. Nous avons, ainsi, défini un rayon de 2 km autour du village pour délimiter la zone à cartographier, et laissé les participants décider eux-mêmes des éléments du paysage qu'ils souhaitaient représenter dans ce rayon. Cette approche permet une représentation plus réaliste et appropriée des besoins et des enjeux du territoire. De plus, elle renforce l'implication des communautés, favorise une meilleure compréhension de leur environnement, et génère des données spatiales qui reflètent véritablement les perceptions locales. Ainsi chaque groupe a produit deux cartes représentant la situation actuelle (2024) et passée (2010). Par ailleurs, nous n'avions pas prévu non plus de comparer les cartes produites par les acteurs locaux aux cartes de télédétection devant les participants.

Phase 3 : Finalisation de la carte

Validation des cartes participatives

Le lendemain de la production des cartes, une réunion de validation a été organisée pour apporter certains ajustements. L'objectif était de présenter les cartes aux participants afin de vérifier s'il n'y avait pas

d'éléments oubliés. Suite à cette validation, les plantations et la végétation ont été ajoutées aux cartes. De plus, il a été constaté qu'un groupe s'était trompé sur l'emplacement exact d'une mine, ce qui a été corrigé lors de cette session. Ensuite, une vérification de terrain a également été menée par le chercheur et les informateurs. Etant donné que nous avons séjourné plusieurs fois dans la localité, l'objectif était de mettre à jour les données GPS concernant les sites nouvellement ouverts. Pour les plantations, nous nous sommes contentés des données qui étaient déjà à notre disposition. Ces points GPS ont permis de placer les types d'utilisation et d'occupation des terres dans leur emplacement précis, au sens du GPS, sans changement dans la composition de la carte de départ produite par les participants.

A cette étape de validation, en plus des participants à l'atelier, quatre personnes qui n'ont pas contribué directement à la production des cartes, ont participé et fourni des commentaires sur les cartes concernant le développement minier artisanal et les impacts de l'activité minière dans la localité Parmi ces quatre personnes, on comptait un sage, un représentant de l'administration, un représentant de la collectivité et un jeune.

Numérisation des données

Les cartes participatives dessinées par les participants ont été numérisées et importées dans un logiciel SIG (QGIS version 3.36.1). Cette numérisation a consisté en la digitalisation manuelle des entités cartographiques sous forme de fichiers de type shapefile. Un shapefile a été créé pour chaque catégorie d'utilisation et de couverture des terres, en appliquant une symbologie uniforme à chaque entité sur toutes les cartes. Les coordonnées GPS, ainsi que les données administratives ont été transférées dans le SIG. Les éléments des cartes participatives viennent s'intégrer dans ce système pour se rapprocher de la réalité de la géolocalisation. Les ajustements de la spatialisation sont un élément important : c'est à travers cet exercice que tous les éléments positionnés dans la carte participative se retrouveront aux endroits exacts sur le terrain, avec une marge d'erreur acceptable.

Entretiens de groupes et individuels

Des entretiens collectifs ont été conduits séparément avec chaque groupe avant la validation, complétés par quatre entretiens individuels approfondis après la validation. Ces entretiens avaient pour objectif

d'identifier les facteurs responsables des dynamiques spatiales cartographiées, d'évaluer les impacts environnementaux et sociaux, et d'explorer les attitudes des participants à leur égard de ces impacts

Analyse et interprétation

Nous avons analysé les différences qualitatives des cartes des participants, notamment dans la composition des types d'utilisation et de couverture terrestre. La composition est le nombre et de types d'utilisation des terres et de la couverture terrestre présents sur les cartes et leurs tailles relatives. Ensuite, le contenu des entretiens a été traité pour affiner l'analyse des différences entre les cartes.

6.2.3. Résultats et discussion

Cartographies participatives sur les dynamiques spatialisées de l'EMAPE à Siguiri

Les participants ont d'abord dessiné la carte actuelle en utilisant les images satellites de 2024 comme guide. Tous les participants étaient impliqués dans le processus de production des cartes jusqu'à la fin. Au début, les participants considéraient la cartographie comme un travail réservé à *« ceux qui sont allés à l'école »*, mais au fur et à mesure que le processus avançait, chacun s'y est impliqué activement. Ainsi, au total, quatre cartes participatives ont été produites : deux cartes par les orpailleurs et deux pour les acteurs institutionnels, représentant le passé (2010) et le présent (2024).

Cartographie produite par les orpailleurs

Choix des éléments par les orpailleurs

A l'issue des discussions, les éléments suivants ont été retenus par les mineurs : les villages, les rivières, les principales routes, les mines artisanales, les plantations et la végétation. Les éléments spatialisés représentés sur les cartes étaient constitués des sites miniers artisanaux, les zones d'habitation (le village et la Cité Koron de la SAG), l'infrastructure routière, les cours d'eau, la végétation, les plantations d'anacardiers et de manguiers.

Dessin de la carte par les orpailleurs

Avant de commencer à dessiner, les mineurs artisanaux ont d'abord discuté de la disposition à adapter pour la feuille sur laquelle ils dessinaient. Après beaucoup de temps de discussions, ils ont d'abord placé la carte de base suivant les points cardinaux. Pour dessiner, les membres du groupe ont d'abord placé les villages

environnants, puis les cours d'eau, les routes, et enfin les sites d'exploitation artisanaux. Deux participants se sont davantage relayés dans le rôle de dessinateur plus les autres, alors que, ceux-ci indiquaient souvent là où il fallait placer les objets. Les figures 22 et 23 présentent le résultat de la cartographie des orpailleurs.

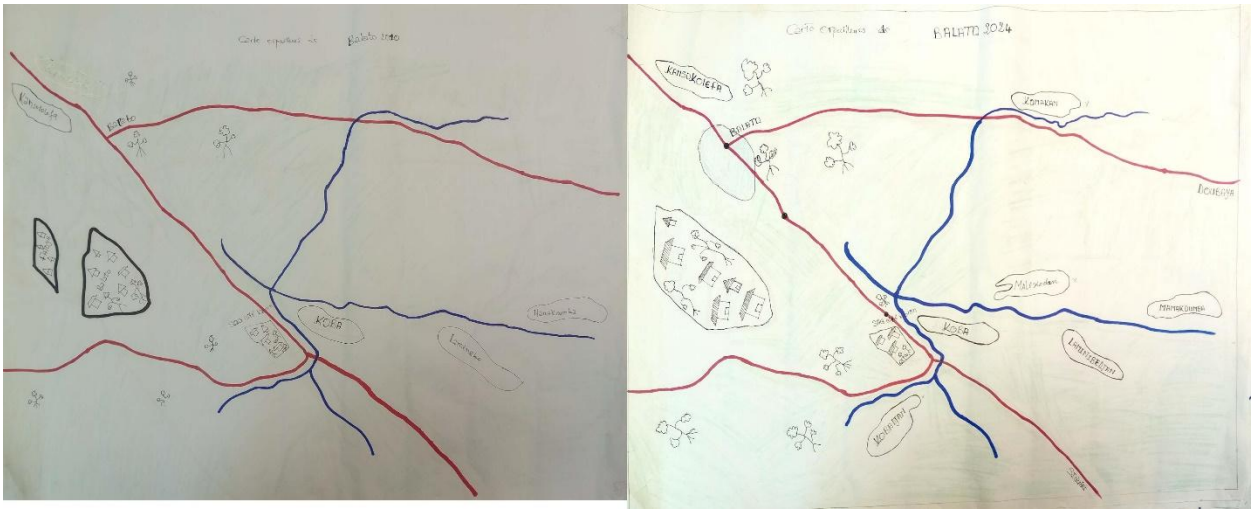


Figure 23 : Cartes papiers des orpailleurs (à gauche la représentation spatialisée pour 2010, à droite celle pour 2024)

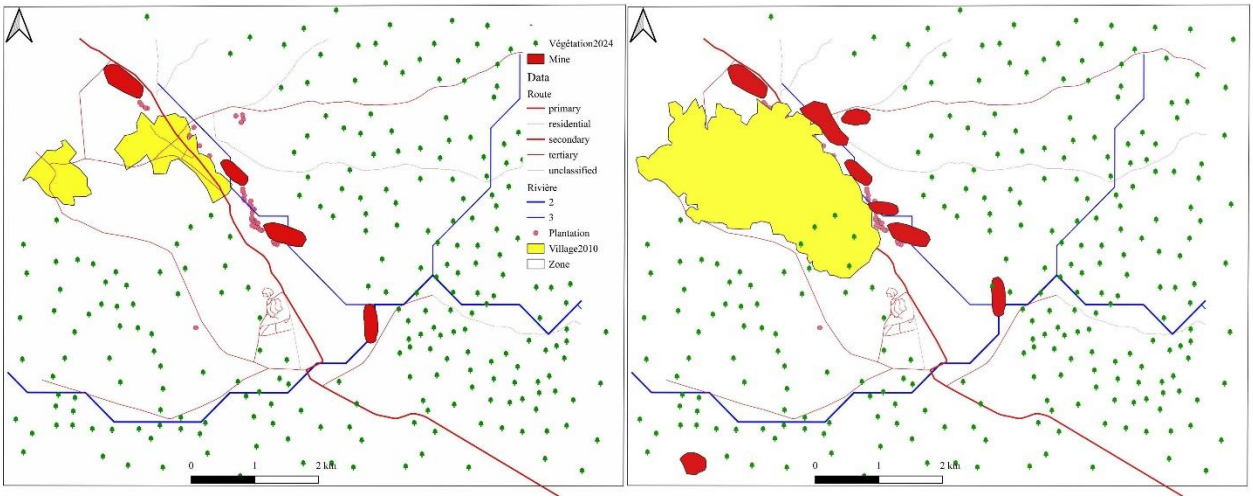


Figure 24 : Cartes numérisées des orpailleurs

Cartographie produite par les acteurs institutionnels

Choix des éléments par les acteurs institutionnels

Le groupe des acteurs ont d'abord choisi un premier dessinateur, qui a évolué au cours du processus de cartographie. Ensuite, les éléments suivants qui ont été retenus par les acteurs institutionnels incluent les routes, la cité Koron (SAG), le village, et enfin les mines artisanales les plantations et la végétation.

Dessin de la carte par les acteurs institutionnels

Le groupe des acteurs institutionnels a commencé par dessiner les repères principaux : les routes, la cité Koron (cité de la SAG), le village, et enfin les mines artisanales. Dans le groupe, de nombreuses discussions ont eu lieu sur l'emplacement exact des mines. Nous avons également remarqué que les participants discutaient beaucoup sur la dénomination des mines artisanales. En effet, localement, toutes les mines ont un nom. Les noms sont souvent attribués au cours d'eau auprès duquel se déroule l'exploitation ou le nom du propriétaire terrien ou du jardin dans lequel se déroule l'exploitation. Ainsi, les anciens sites du village portent par exemple le nom des cours d'eau alentour et les sites récents portent le nom des propriétaires terriens. Les figures 24 et 25 présentent les cartes des acteurs institutionnels.

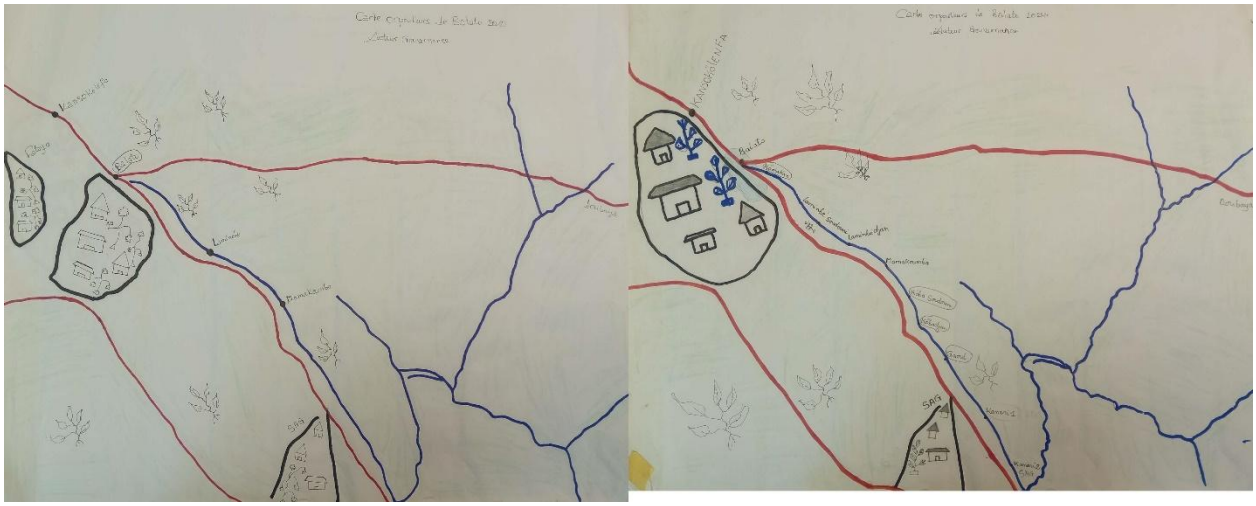


Figure 25 : Cartes papier des acteurs institutionnels

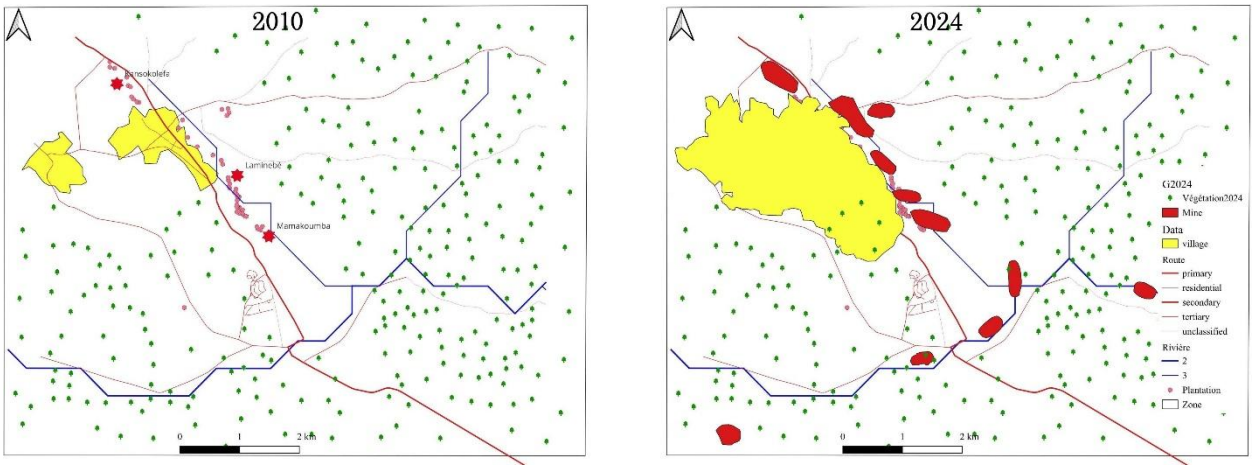


Figure 26 : Cartes numérisées des acteurs institutionnels

Perceptions des rapports spatialisés entre objets du territoire par les acteurs

Les participants ont cartographié les différents types d'utilisation et de couverture du sol en se servant de leurs connaissances du territoire. Les éléments constitutifs de ces cartographies participatives ont été confirmés à l'issue d'une visite de terrain, suivie d'une réunion de « validation » avec les participants.

Place et rôles des éléments naturels dans la perception des dynamiques spatialisées d'évolution de l'EMAPE

Les cours d'eau sont bien répartis et représentés, et jouent un rôle crucial dans la dynamique spatiale de déploiement de l'EMAPE. En effet, la pratique historique de l'exploitation artisanale dans la région de Bouré est une exploitation de type alluvionnaire (Lanzano et Arnaldi di Balme, 2017). Les éléments cartographiés étaient localisés par rapport aux autres villages, témoignant de l'importance accordée aux délimitations administratives, d'une part, et aux lieux de vie d'autre part.

Dans l'ensemble, les participants se sont davantage concentrés sur la représentation du village, des routes et des sites miniers que sur la végétation et les plantations d'anacardiers. Ces dernières ont été dessinées à la fin, suite à une sollicitation de l'animateur demandant s'ils n'avaient rien oublié. Cela pourrait indiquer une priorisation des éléments économiques sur les éléments environnementaux dans les représentations locales des dynamiques spatiales de l'EMAPE : les mines, et les zones résidentielles sont prédominantes dans leur compréhension de l'espace, la végétation étant vue dans ce cas, comme un élément de contexte plutôt que comme une composante centrale de ces dynamiques.

Des significations différentes de l'objet spatial « mine »

On constate une différence dans le nombre de mines représentées sur les cartes produites par les différents groupes d'acteurs. Dans la cartographie de la situation actuelle, quatre mines identifiées par les acteurs institutionnels n'apparaissaient pas sur les cartes des orpailleurs, tandis qu'une seule mine identifiée par les orpailleurs était absente des cartes des acteurs institutionnels. Les orpailleurs ont expliqué, quant à eux, qu'ils n'ont inclut que les mines en activité au moment de la cartographie, tandis que les acteurs institutionnels ont pris en compte toutes les mines, qu'elles soient actives ou peu actives. Ce qui reflète un contraste de la signification de la mine. Lors de nos visites sur le terrain, nous avons effectivement constaté

que certaines mines étaient peu fréquentées, voire transformées en zones de lavage. Les orpailleurs appréhendent les mines selon une logique d'usage, une logique économique. Leur perception se limite à la fonction productrice de la mine qui, selon cette vision, est un lieu où l'extraction est en cours et où des gains économiques sont réalisés. Ils peuvent ainsi exclure les sites non productifs ou abandonnés, même s'ils sont transformés en sites de traitement du minerai. À l'inverse, les acteurs institutionnels adoptent une logique d'intervention dans leur définition de la mine. Leur vision des espaces miniers repose principalement sur ses caractéristiques physiques générales (changement morphologique, dégradation des sols, etc.). Cette divergence dans les représentations rejoint les observations d'Ait-Alhayane (2010) dans son étude au Maroc, où il met en évidence que différents groupes d'acteurs attribuent des significations contrastées aux ressources naturelles. Tandis que certains privilégient une approche axée sur la transformation productive, d'autres se concentrent sur la préservation ou les effets environnementaux. Dans le contexte guinéen, ces différences influencent directement les priorités et la pertinence des espaces à inclure dans la cartographie : pour les acteurs institutionnels, les mines abandonnées ou non productives restent significatives en raison des traces laissées sur la couverture terrestre.

Perceptions spatialisées des dynamiques d'évolution du territoire

Le changement majeur observé par les participants concerne sans doute les dynamiques d'évolution parallèle de l'exploitation minière artisanale et du village. Sur les cartes de 2024, qu'il s'agisse des cartes dessinées par les orpailleurs ou par les acteurs institutionnels, l'exploitation minière artisanale et la zone de bâtie sont devenus des éléments importants. Cependant, les perceptions de ces dynamiques d'évolution spatialisées sont contrastées, et les avis divergent entre orpailleurs et acteurs institutionnels.

Perceptions contrastées de l'évolution parallèle de l'activité minière

Incontestablement, les sites miniers connaissent une augmentation marquée en 2024 : ils étaient bien moins importants et moins nombreux en 2010. Le nombre de site miniers artisanaux est passé de 3 en 2010 à 10 en 2024 pour les acteurs institutionnels, contre 4 mines en 2010 à 7 mines en 2024 pour les orpailleurs. Cela constitue une intensification de l'activité minière, surtout lorsque toutes ces mines sont simultanément

actives. Dans le passé, l'exploitation minière était peu importante, en raison de la simplicité des outils, de la faible densité de la population minière et de l'organisation collective de l'activité. Les règles coutumières instituaient une rotation des sites d'extraction et une alternance dans l'exploitation, visant à prévenir l'épuisement des réserves. Cette alternance permettait également de combiner l'activité avec l'agriculture (Bolay, 2016b; Luning *et al.,* 2014). Comme l'a expliqué un participant à l'étude : *« je trouve dommage qu'on ne combine plus EMAPE et l'agriculture, pourtant à notre temps on le faisait ».* Pour les acteurs institutionnels participant à l'atelier, la multiplication des mines est attribuée à la recherche d'intérêts individuels, l'augmentation de la population, l'épuisement des ressources et l'amélioration des techniques d'extraction. Dans leurs échanges et les entretiens de validation menés le lendemain, ils mettent en avant la fragmentation sociale et la perte des principes coutumiers qui régulaient autrefois l'exploitation minière. Ils soulignent l'individualisme croissant comme facteur d'augmentation et la mécanisation comme facteur d'intensification de l'exploitation : « *Au moment où je grandissais, quand on venait ici, c'est le chef du village qui autorisait la mise en exploitation de la mine, il fixait également la date d'ouverture de la mine. Au fur et à mesure de l'évolution des choses, les gens cherchent leur intérêt. […]. Les gens sont également éveillés. Sinon, en 2010 c'est la liste qu'on prenait au village. On prenait la liste de tous les ayants droits. Mais aujourd'hui ce n'est plus le cas [...] les jeunes sont révoltés. Ils veulent coûte que coûte avoir leur part ».*

Perceptions contrastées de l'évolution parallèle du village

Parallèlement, le village a beaucoup évolué au cours de la période d'étude. Entre 2010 et 2024, une expansion de la taille du village est observable sur les cartes. Selon les participants, cette expansion s'expliquerait par l'arrivée et l'installation de plusieurs personnes en lien avec le développement de l'activité minière (mineurs migrants, commerçants et autres fournisseurs de services) dans le village, entraînant une expansion des zones d'habitation. Les participants parlent ainsi volontiers « *d'extension géographique* » et de « *développement des infrastructures publiques* » : « *N'importe qui tu demandes à Balato sur l'importance de l'orpaillage sur le village te parlera de l'augmentation de la population et l'extension du village, ainsi que des activités de connexes ».* Balato comptait 50 440 habitants en 2020 et le

taux de croissance urbaine annuel de Balato de 4.93%, soit le plus élevé au niveau national après la capitale Conakry (Africapolis, 2024). Cette croissance de la population entraîne une extension des zones d'habitat et la multiplication de petites activités commerciales, transformant les villages en zones semi-urbaines. La route principale qui relie Balato à Siguiri est transformée en corridors commerciaux, avec des installations des services où les orpailleurs, commerçants, et résidents interagissent. Cette mutation du cadre de vie crée un espace hybride, entre village et centre d'activité commerciale, et reflète l'impact direct des activités d'orpaillage sur la physionomie et le quotidien de la communauté. L'augmentation de la population et l'extension géographique sont valorisées par la population et les autorités locales, car elles confèrent au village un prestige accru et alimentent l'ambition d'accéder au statut administratif supérieur comme être érigée en commune rurale par exemple. Les responsables locaux mènent des démarches depuis longtemps dans ce sens.

Historiquement en Guinée, le développement urbain a été encadré par les politiques nationales, qui ont longtemps restreint la croissance des villes en n'accordant le statut de ville qu'aux agglomérations désignées par l'État. Cependant, depuis l'intensification de l'orpaillage, un réseau semi-urbain, constitué d'agglomérations minières informelles, émerge toutefois en dehors du cadre administratif. Ces localités, comme Balato, attirent des travailleurs et se développent de manière informelle notamment en construisant les infrastructures de base comme la mairie, la sous-préfecture, etc. Si cela a porté fruit pour d'autres localités (par exemple entre 2010 à 2024, Siguiri est passé de 12 sous-préfectures à 20), ces changements demeurent sans reconnaissance officielle du statut de Balato, qui reste administrativement liée à Kintinia chef-lieu de la Sous-préfecture. Cette situation crée un décalage entre le développement apparent et l'absence de reconnaissance institutionnelle, soulignant les défis auxquels sont confrontés les villages miniers pour asseoir durablement leur statut socio-économique (Schaller *et al.,* 2014).

Les orpailleurs participants aux ateliers ont souligné, quant à eux, les progrès réalisés dans le village, qui se manifestent par les différentes constructions notamment les infrastructures publiques (par exemple : écoles, ouverture de clinique privée, lieux cultuels, nouveaux commerces, etc.). Les orpailleurs se

concentrent sur les avancées techniques et l'augmentation de la population minière comme moteurs de l'expansion des sites miniers : *« L'augmentation des mines est le résultat de l'amélioration des techniques d'extraction et l'augmentation de la population minière. A notre enfance, il n'y avait pas beaucoup de monde, tout le monde pouvait contenir dans une mine, mais aujourd'hui avec du monde que nous avons, ce n'est pas possible de réunir tous ces gens dans une mine ».*

Des perceptions spatialisées des impacts environnementaux de l'EMAPE

Les participants perçoivent plusieurs menaces environnementales associées au développement minier actuel d'EMAPE. Parmi celles-ci, ils relèvent une dégradation importante des terres, la disparition des cours d'eau en raison de pratiques peu respectueuses de l'environnement, et une diminution de la végétation de la savane due à la destruction du couvert végétal. Les deux groupes mobilisés lors des ateliers partagent des préoccupations similaires concernant ces impacts environnementaux. Un orpailleur résume ainsi un sentiment largement partagé : *« Nous n'avons plus de rivière, pas de forêt et l'environnement est dégradé »*.

Cette dégradation environnementale a également des répercussions sur d'autres secteurs. L'agriculture, la pêche et l'élevage, autrefois des activités économiques complémentaires à l'exploitation minière, ont considérablement diminué. En ce qui concerne l'élevage, les orpailleurs ont mis en avant les difficultés rencontrées par les éleveurs : « *Quand un éleveur perd sa bête dans un puits, il n'y a rien, il n'est pas remboursé* », ont-ils déclaré, illustrant ainsi les défis auxquels font face les éleveurs locaux. De plus, bien que cela ne soit pas représenté sur les cartes, les jardins des femmes ont été mentionnés par les participants comme une pratique courante en 2010. De nombreuses familles combinaient alors l'agriculture, notamment la culture du maïs et du riz, avec l'exploitation minière. Bien que l'agriculture soit peu pratiquée, le développement des plantations d'anacardier est très remarquée dans la région (Dessertine *et al.,* 2023). Cette tendance est motivée par l'espoir de compensation de la part des sociétés minières potentielles, mais aussi pour marquer l'appartenance du domaine. Ainsi, des groupements d'hommes se sont formés pour faire des plantations d'anacardiers, bien que ces plantations soient situées à plusieurs kilomètres du village.

Apports et limites de la cartographie participative pour répondre aux enjeux de transformation de l'EMAPE en Afrique de l'Ouest

L'organisation et l'animation des ateliers menés en 2024 dans la province de Siguiri en Haute-Guinée permettent d'affiner les différences de représentations de l'EMAPE qui existent entre orpailleurs et représentants des institutions locales. Ces différences participent, on l'a vu, des difficultés à mettre en place des actions pour transformer les pratiques de l'EMAPE et tendre à minimiser les impacts environnementaux et sanitaires de celles-ci. La place et le rôle que jouent les éléments naturels dans les dynamiques d'évolution du territoire minier, les significations contrastées attribuées à la multiplication des mines et au développement parallèle du village et du tissu urbain sont autant d'éléments qui permettent de comprendre l'écart qui se jouent entre les représentations et les pratiques de ces deux groupes d'acteurs. Au-delà, il convient à présent de s'interroger sur le rôle que ce type d'ateliers peut avoir pour impliquer les orpailleurs dans la transformation durable de leurs pratiques.

De l'usage des données spatialisées produites par la cartographie participative

Dans le cadre de l'exploitation aurifère, la cartographie participative se détache des modèles institutionnels ou académiques de représentation, que ce soit dans ses contenus ou dans ses formes graphiques. Alors que, les gouvernements et les experts s'en sont servis à travers les cadastres pour délimiter et contrôler les ressources minières du territoire national et assoir leurs connaissances, elle marque un changement de perspective dans la manière de concevoir et d'utiliser les cartes. La cartographie participative favorise le recueil de la multiplication des points de vue et contribue ainsi à une pluralité de représentations. Elle rappelle ainsi que toute carte n'est pas une image neutre ou un simple reflet objectif du monde, mais bien une construction qui traduit des choix profondément liés à un contexte social, culturel et politique. En d'autres termes, chaque carte produite dans ce cadre reflète les perspectives, les priorités et les dynamiques des acteurs impliqués, soulignant ainsi le caractère subjectif et situé de toute représentation cartographique.

L'utilisation de la cartographie participative dans l'analyse du développement minier artisanal présente donc plusieurs avantages qui en font un outil précieux pour comprendre les dynamiques locales. Tout d'abord, elle facilite le dialogue entre chercheurs et acteurs locaux, mais également des acteurs locaux entre

eux, sur les transformations du territoire et leurs impacts. Les participants à l'étude reconnaissent que l'orpaillage a des impacts environnementaux et sociaux. Ils estiment que son intensification, ainsi que la mécanisation qui l'accompagne, contribuent à la dégradation de l'environnement, notamment des cours d'eau et de la végétation. Elle rend plus explicites les perspectives divergentes des acteurs locaux, à travers les récits et les cartes qu'ils produisent. La cartographie participative contribue ainsi, à approfondir la compréhension des dynamiques en jeu à l'échelle locale. L'implication des communautés locales dans ce processus permet en outre, la coproduction et l'appropriation collective des données, tout en favorisant leur sensibilisation aux changements du territoire et à leurs effets – une condition préalable essentielle pour permettre aux communautés de jouer un rôle proactif dans la formalisation et la durabilité environnementale (Aggrey *et al.,* 2021 ; Stylo *et al.,* 2020).

Cependant, la cartographie participative présente également certaines limites. L'une d'elles réside dans le fait que les dynamiques représentées ne reflètent que les changements jugés importants par les participants (Aggrey *et al.,* 2021) qui peuvent accorder plus d'importance aux événements ou aux aspects qui les concernent directement ou qui ont un impact significatif sur leur vie, leurs biens ou leurs activités (Bartolucci *et al.,* 2022). Par ailleurs, la cartographie participative doit s'assurer que les informations collectées ne servent pas uniquement les intérêts extérieurs ni ne soient utilisées au détriment de la communauté (Amelot, 2013; Chambers, 2006). De manière opérationnelle, se pose de plus la question de l'organisation et de la structuration d'un dialogue entre ces différentes représentations spatialisées, de leur capacité à produire de nouvelles connaissances territoriales partagées et de leur rôle dans le changement des pratiques.

Du dialogue entre télédétection et cartographie participative

La télédétection est communément utilisée pour assurer un suivi du développement de l'EMAPE dans les pays aurifères. Cependant, cette méthode de suivi spatialisé rencontre des limites que la cartographie participative peut venir repousser. Par exemple, dans la démarche d'évaluation de l'évolution d'EMAPE par la télédétection, les surfaces décapées lors de l'extraction constituent un indicateur de la présence de

l'activité minière. Or, à Siguiri par exemple, certaines exploitations prennent place au cœur des plantations d'anacardiers. La cartographie de ces zones par la télédétection créerait une confusion entre EMAPE et absence de végétation, l'utilisateur pourrait donc exclure ces zones pour éviter toute ambiguïté dans la cartographie de la couverture terrestre (Joshi *et al.,* 2016). Le traitement des images par la télédétection peut également écarter des zones ambiguës, montrant ainsi que la définition d'une mine et l'évaluation des impacts environnementaux dépendent fortement de la position et du point de vue de l'observateur. Des recherches sont en train d'être menées pour distinguer les sites actifs des sites inactifs (Alessi *et al.,* 2023). Ainsi, un croisement entre télédétection et cartographie participative permettrait d'affiner le suivi spatialisé de l'évolution de l'EMAPE à une échelle locale.

De la place des savoirs locaux dans la transformation des pratiques

Dans certains cas, la cartographie participative est un levier pour redonner du pouvoir à des groupes marginalisés. Lorsqu'elle est intégrée à des projets territoriaux, la cartographie participative peut ainsi favoriser l'empowerment en permettant à des groupes peu écoutés de proposer une vision alternative de leur territoire et de participer aux décisions qui les concernent. Par exemple, des tribus amazoniennes, en collaboration avec des ONG, ont utilisé des GPS et Google Earth pour cartographier leurs ressources et défendre leurs droits traditionnels (Butler, 2006). Cependant, les débats sur les biais de la participation soulignent la nécessité d'évaluer les procédures, notamment l'implication réelle des communautés, les bénéficiaires, la propriété et l'usage des cartes produites (Chambers, 2006). La disponibilité limitée des orpailleurs, ainsi que certains responsables locaux représente un défi majeur pour la mise en œuvre d'ateliers de cartographie participative (Diniz *et al.,* 2015). Ce fut l'une des difficultés rencontrées dans notre étude. Les acteurs étaient souvent contraints par des obligations immédiates liées à leurs responsabilités dans le village ou les activités économiques quotidiennes (tels les orpailleurs), ce qui restreint leur temps pour participer à des ateliers prolongés. Cependant, la connaissance mutuelle préalable entre les participants et l'animateur (Diniz *et al.* 2015) a contribué positivement à la réalisation des ateliers. Un point faible de notre étude reste néanmoins l'absence de participation des femmes dans les ateliers, un aspect essentiel pour garantir une vision équilibrée. Une participation plus inclusive dans la définition des

problèmes et la recherche de solutions est cruciale pour assurer une gestion efficace des impacts environnementaux (Asubonteng *et al.,* 2021; Somuah *et al.,* 2021; Bennett, 2016).

Se pose enfin la question du rôle de ces ateliers de cartographie participative dans l'évolution des pratiques d'orpaillage. Les cartes sont un support à l'action territoriale, elles sont des outils de planification et d'aménagement des territoires. Si les ateliers de cartographie participative permettent de collecter et de croiser les savoirs sur les dynamiques spatialisées de l'EMAPE, s'ils participent sans doute d'une prise de conscience des impacts territoriaux de celles-ci, en quoi peuvent-ils contribuer à une transformation durable des pratiques ? Dans un autre contexte, Cuya *et al.,* (2021) ont démontré que si les orpailleurs sont conscients de la dégradation environnementale à l'œuvre sur les sites d'orpaillage, et si la plupart d'entre eux sont prêts à s'impliquer dans la conservation écologique de leur environnement, des barrières politiques, bureaucratiques et économiques empêchent un réel engagement et l'adoption de nouvelles pratiques. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour affiner ce lien entre télédétection, cartographies participatives et transformations des pratiques de l'EMAPE.

6.2.4. Conclusions

L'objectif premier de cet article était de rendre compte d'une deuxième expérimentation de cartographies participatives menée en contexte minier en Afrique de l'Ouest. Il s'agissait de rendre compte de la capacité de la production participative de données spatialisées à être un support pertinent pour favoriser l'expression et l'analyse des représentations que se font les acteurs locaux de la dynamique spatiale de l'EMAPE, son impact sur l'utilisation et la couverture des terres, à la fois dans le passé et dans le présent. Nous souhaitions ainsi contribuer aux réflexions menées sur les difficultés à mettre en place de nouvelles pratiques plus durables dans ce secteur. En effet, cette expérimentation de cartographie participative s'est attachée en particulier à rendre compte des divergences de représentations de ces dynamiques spatialisées entre parties prenantes de l'EMAPE, et notamment entre orpailleurs et acteurs institutionnels.

Nous avons ainsi mis en évidence que chaque perception représente une vision de l'orpaillage basée sur une logique spécifique, axée sur l'économique et la culture pour les mineurs artisanaux et centrée sur la protection de l'environnement pour les acteurs institutionnels. Le passage par l'intermédiaire de la cartographie participative permet ainsi de mettre en évidence ces tensions latentes et apporte un nouvel éclairage sur les enjeux de la transformation des pratiques de l'orpaillage. Les résistances des mineurs artisanaux aux initiatives de transformation des pratiques ne relèvent pas de la méconnaissance des impacts environnementaux négatifs de l'orpaillage, elles s'opposent souvent aux mesures de protection environnementale lorsque celles-ci menacent leurs moyens de subsistance (Cuya *et al.*, 2021). Cette résistance ne reflète donc pas a priori un rejet des principes de durabilité des pratiques en tant que tels, mais bien une réaction face aux conséquences matérielles et économiques des régulations environnementales sur leur quotidien. Cette tension entre les impératifs économiques locaux et les objectifs de durabilité met en lumière des logiques apparemment irréconciliables. Ce travail est un nouveau témoignage du potentiel de la cartographie participative à capter les différentes représentations des acteurs du territoire.

Cependant, le point commun l'ensemble des parties prenantes de l'orpaillage en zone rurale reste le territoire. L'ensemble des participants aux ateliers ont en effet porté une attention aux dynamiques territoriales et leurs évolutions entre le passé (2010) et le présent (2024). Ainsi, tous les acteurs se sentent concerné par le développement du territoire La cartographie participative permet ainsi de rendre compte de cette préoccupation commune pour le territoire, comme un préalable à la remise en dialogue entre orpailleurs et acteurs institutionnels. Celle-ci devrait chercher à concilier les intérêts socio-économiques des communautés les impératifs de durabilité, non pas en réduisant les différences d'objectifs qui les séparent mais en essayant de faire cohabiter les deux logiques et de les faire dialoguer. Cela permettrait de réduire la perception de la protection comme une contrainte et de favoriser un engagement plus harmonieux dans les efforts de transformation des pratiques.

6.3. Discussion / Conclusion : de la cartographie comme objet-frontière

La durabilité passe par l'intégration des perspectives et des objectifs de nombreux acteurs issus de différents domaines et de différentes institutions (Duff et Downs, 2019, Brandt et al. 2013). L'un des défis de la science de la durabilité est de garantir que les autorités gouvernementales aient la capacité de faciliter et d'opérer de manière constructive au sein de systèmes multi-acteurs (Duff et Downs, 2019). Permettre à divers acteurs de participer aux politiques, aux projets ou à la définition des objectifs majeurs légitime le fonctionnement, réduit les conflits et crée un environnement qui permet de comprendre les problèmes (Duff et Downs, 2019). Cependant, au-delà du principe, se pose la question de la mise en œuvre de cette participation des parties prenantes locales dans la planification des transformations nécessaires de leurs pratiques. Comment déterminer quels acteurs doivent être intégrés aux discussions, à la planification et à l'exécution de nouveaux projets et politiques ? De quelle manière créer des espaces favorisant le dialogue entre les différents savoirs ? Comment garantir que ces espaces permettent l'expression de toutes les perspectives ? Quels outils utiliser pour animer efficacement ces échanges ?

Des travaux de recherche ont tenté d'apporter des premiers éléments de réponse à ces questions : Andriamasinoro *et al.* (2020) ont développé une approche de simulation multi-agents participative pour tester et discuter de différents scénarios de formalisation du secteur de l'ASM en Afrique. Cerceau *et al.,* (2024) ont développé un jeu sérieux pour échanger autour des risques environnementaux et sanitaires dans la région du Liptako Gourma. Un jeu a également été développé dans le cadre du projet au Suriname – Fresque du mercure et de l'orpaillage (Marcadé *et al.,* 2024). Notre contribution à la recherche sur l'EMAPE en Afrique de l'Ouest s'inscrit dans la continuité de ces travaux de recherche, en proposant de se saisir de la carte comme objet-frontière susceptible de favoriser l'implication des acteurs locaux, et des orpailleurs en particulier, dans la réflexion sur la transformation de leurs pratiques. Conscients de n'investir que la portée analytique de la « flexibilité interprétative » de l'objet-frontière, nous le mobilisons « comme support de traductions hétérogènes, comme dispositif d'intégration des savoirs, comme médiation dans les processus de coordination d'experts et de non-experts » (Trompette et Vinck, 2009).

6.3.1. La cartographie comme objet-frontière : interdisciplinarité

Questionner l'interface entre télédétection et sciences humaines et sociales

Les recherches sur l'EMAPE de l'or ont intégré de manière significative les technologies de télédétection et les systèmes d'information géographique au cours des 25 dernières années, notamment en Afrique subsaharienne. Ces outils ont considérablement enrichi les analyses environnementales associées à l'EMAPE en permettant une extension des échelles spatiales et temporelles d'observation. Grâce à leur capacité à produire des données détaillées et régulières, les technologies de télédétection ont grandement contribué à approfondir les connaissances sur l'évolution de l'EMAPE et sur les impacts environnementaux qu'elle engendre, particulièrement dans des zones isolées et difficiles d'accès pour les agents des administrations publiques compétentes. Le développement continu de capteurs de nouvelle génération : PRISMA (PRecursore IperSpettrale della Missione Applicativa), HySIS (HyperSpectral Imaging Satellite), HSI (HyperSpectral Imager), HISUI, (Hyperspectral Imager SUIte) promet d'améliorer encore davantage la précision des analyses (Mücke *et al.*, 2019; Tachikawa *et al.*, 2012). Ces avancées renforcent la boîte à outils des autorités pour une gestion territoriale plus efficace et adaptée en objectivant ces phénomènes dans des formats standardisés et lisibles. Cela permet à l'État de renforcer sa capacité à « voir » l'espace qu'il est censé gouverner de manière optimale (Scott, 2008).

Cependant, cette dynamique soulève des interrogations croissantes notamment parmi les chercheurs en sciences humaines et sociales. Ces derniers mettent en évidence le risque que les analyses macroscopiques permises par la télédétection, bien qu'indispensables, occultent la diversité et la complexité des réalités locales. Par ailleurs, ces analyses ne sont pas entièrement exemptes de biais, en raison des choix méthodologiques et des cadres interprétatifs mobilisés. Ces outils, dotés de divers pouvoirs, confèrent une influence particulière à ceux qui les produisent, en contrôlent l'accessibilité et les interprètent selon des cadres et des agendas politiques spécifiques (Venot, 2024; Davis *et al.*, 2021; Witjes et Olbrich, 2017). En effet, bien que la télédétection offre un potentiel indéniable pour analyser les interactions complexes entre société et environnement, son utilisation a souvent contribué à perpétuer des conceptualisations

problématiques plutôt qu'à renouveler notre compréhension de ces relations. Ces conceptualisations, imprégnées d'un certain déterminisme, ont fait l'objet de critiques dès le début des années 2000 (M. D. Turner, 2003). Kugler *et al.* (2019) soulignent que les avancées technologiques, bien qu'essentielles, ne suffisent pas à elles seules pour répondre aux questions fondamentales soulevées par les territoires. Ce constat, formulé dès la fin des années 1990, trouve un nouvel écho dans les dynamiques actuelles de l'EMAPE.

Ainsi, malgré leurs avancées, les technologies de télédétection demeurent (et demeureront probablement) limitées dans leur capacité à appréhender des dimensions socio-politiques de l'orpaillage telles les questions de relations de pouvoirs, de santé-sécurité ou encore de phénomènes migratoires. Or, ces aspects sont essentiels pour une gouvernance durable de ce secteur. Dès lors, il est clair que les chercheurs de ce domaine adoptent une posture critique à l'égard de ces technologies, tout en explorant les opportunités qu'elles présentent et en cherchant à en tirer parti en les intégrant dans leurs propres travaux.

Pour une hybridation des méthodes de télédétection et des méthodes de cartographie participative

Dans ce contexte, nos travaux de recherche offrent une contribution originale en mettant l'accent sur l'interdisciplinarité appliquée au domaine de l'exploitation minière artisanale et à petite échelle. La présente recherche apporte une contribution significative en examinant l'impact du changement technologique sur la gouvernance locale et la répartition spatiale des activités de l'EMAPE dans la préfecture de Siguiri, située au nord-est de la Guinée. Les technologies de SIG et de télédétection ont été mobilisées pour cartographier et analyser l'expansion spatiotemporelle de l'EMAPE, fournissant ainsi des données empiriques essentielles pour alimenter les débats actuels sur le développement de ce secteur. Cependant, cette étude dépasse les cadres d'analyse quantitative en intégrant ces outils à des méthodes qualitatives issues des sciences sociales, telles que les entretiens et la cartographie participative.

Cette approche méthodologique hybride relie des observations quantitatives détaillées aux observations qualitatives, ce qui est fondamental pour appréhender la complexité des dynamiques socio-spatiales dans les zones minières artisanales. En premier lieu, les technologies SIG et de télédétection ont été utilisées

pour offrir un contexte spatiotemporel pertinent à l'étude de la mécanisation de l'EMAPE dans cette région minière. Ces outils ont permis de localiser et de cartographier les espaces miniers artisanaux dans le temps et dans l'espace fournissant ainsi une vision large des dynamiques spatiales. Par ailleurs, les méthodes des sciences sociales ont permis de mettre en évidence les relations de travail, la distribution de revenu autours des puits. Cette combinaison d'outils et de méthodes enrichit la compréhension des transformations en cours, tout en mettant en lumière les imbrications entre les évolutions techniques et leurs implications sociopolitiques. De ce fait, notre travail s'inscrit dans la suite des chercheurs qui, depuis 25 ans militent à se saisir de la télédétection en conjonction avec d'autres approches (Kugler *et al.,* 2019; Zaehringer *et al.,* 2018; M. D. Turner, 2003).

Retour réflexif sur un cheminement interdisciplinaire personnel

Cette thèse représente également un cheminement personnel, offrant un éclairage différent sur ce qui précède. Ma formation initiale en géologie et exploitation minière a structuré ma compréhension des dynamiques naturelles et techniques associées aux ressources du sous-sol. Cependant, ces bases académiques ont progressivement été enrichies par mon intérêt pour les sciences sociales, notamment à travers mes travaux de master. Aujourd'hui, je revendique que mes recherches, bien qu'elles mobilisent encore des outils et concepts issus des sciences exactes, s'inscrivent pleinement dans une perspective interdisciplinaire, intégrant des approches issues des sciences sociales, et ce, même si je n'ai pas suivi de formation académique formelle dans ces disciplines. C'est précisément cela, l'essence même de l'interdisciplinarité, laquelle, selon Venot (2024), implique de dépasser un certain inconfort pratique et d'accorder une réelle opportunité à des méthodes qui ne font pas partie des outils classiques d'une discipline donnée.

Mon inscription en thèse s'est faite dans un cadre académique enrichi par une équipe de direction pluridisciplinaire, composée de sociologues, d'anthropologues et de géologues, et nourri par des rencontres, des échanges et des opportunités. Ce parcours m'a permis de m'approprier divers cadres théoriques, méthodologies et outils, combinant télédétection, SIG, enquêtes qualitatives et cartographie participative.

Cette hybridation reflète non seulement l'évolution de mon cheminement intellectuel, mais aussi ma conviction que l'étude des enjeux contemporains exige une articulation étroite entre sciences dures et sciences sociales.

6.3.2. La cartographie comme objet-frontière : transdisciplinarité

Multiplicité des représentations et recherche de référents communs

Comme nous avons pu le montrer, chaque acteur possède une perception distincte de l'exploitation minière et de ses conséquences, influencée par des logiques spécifiques. Pour les mineurs artisanaux, l'extraction aurifère est motivée par des impératifs socio-économiques et culturels, tandis que les autorités publiques la perçoivent comme une activité destructrice de l'environnement et informelle qu'il faut à tout prix formaliser. Pour de nombreuses communautés locales, l'exploitation minière artisanale incarne à la fois une tradition profondément enracinée et un moyen de subsistance essentiel. Elle est souvent considérée comme un symbole d'autonomie économique, permettant de maintenir des modes de vie et des valeurs collectives. Ainsi, les mineurs et leurs familles voient fréquemment cette activité comme une expression de leur identité, un facteur de cohésion sociale et une opportunité de mobilité socio-économique échappant au contrôle des institutions étatiques (Frækaland Vangsnes, 2018). Cette perception contraste fortement avec celle des régulateurs, qui abordent l'EMAPE principalement sous l'angle des risques environnementaux et des normes de sécurité. Ce décalage contribue à exacerber les tensions entre les parties prenantes, rendant la transformation des pratiques difficile, voire impossible.

Cependant, un point commun unit tous ces acteurs : le territoire. Le développement de l'exploitation minière artisanale entraîne une croissance démographique, une extension des zones d'habitat et une multiplication des activités commerciales de petite échelle, transformant ainsi les villages en espaces semi-urbains. Cette mutation du cadre de vie constitue un enjeu partagé par l'ensemble des acteurs locaux. Un dispositif de concertation, qui implique la confrontation de points de vue divergents, nécessite l'existence d'éléments de référence communs à toutes les parties concernées. La confrontation entre les visions des acteurs institutionnels et celles des orpailleurs ne doit pas viser à réduire les différences d'objectifs qui les séparent,

mais plutôt à faire coexister ces deux logiques et à instaurer un dialogue entre elles. Pour débattre collectivement, il est en effet essentiel de s'accorder sur la nature et la définition du problème à discuter.

C'est précisément à ce niveau que la carte intervient : bien plus qu'un simple support d'information destiné aux acteurs institutionnels et aux mineurs artisanaux, elle se positionne comme un outil de communication essentiel dans le cadre d'une médiation sociale. Pour Mougenot (2003), les cartes sont en effet des outils permettant à la fois de formaliser des idées, de partager des connaissances et de jouer un rôle de « médiation ou de médiatisation ». Elle permet de faciliter l'établissement d'un consensus sur les modalités de transformation des pratiques, en offrant une représentation visuelle partagée qui permet de localiser, comparer et débattre des enjeux territoriaux.

Agencéité des cartes : croisement des représentations spatialisées

Dans cette thèse, nous avons eu à cœur d'explorer la façon dont les cartes, qu'elles relèvent de l'imagerie satellites, de la télédétection ou de la cartographie participative suscitent des interactions entre la multiplicité des représentations des dynamiques spatiales d'évolution de l'EMAPE sur notre territoire d'étude.

Nous avons pu constater que la visualisation de la réalité physique du territoire, rendue possible par l'imagerie satellite, suscite une fascination particulière chez les acteurs locaux. Elle stimule le dialogue, délimite les contours de la zone analysée, et renforce la motivation et l'engagement des acteurs. Ainsi, elle apporte une dimension spatiale nouvelle, enrichit la qualité des enquêtes de terrain et permet une construction thématique rapide et efficace. Bien que l'image satellitaire fournisse une information homogène et continue de la dynamique spatiale, les états de surface qu'elle détecte manque toujours de contexte. Les acteurs locaux, forts de leur connaissance du territoire, ont ainsi grandement contextualiser la représentation géographique de l'espace tel que perçu par l'image. Par ailleurs, la cartographie de la perception des mineurs artisanaux, en caractérisant le territoire et en dévoilant les contraintes socio-économiques et culturelles qui empêchent une transition vers les pratiques plus durables vient enrichir cette représentation de manière précise et pertinente.

Les dynamiques territoriales, souvent invisibles à l'œil nu, ont été mises en lumière grâce à la carte. L'information qu'elle a véhiculée lui a permis de s'imposer comme un « acteur » à part entière du processus. Qu'elle ait joué son rôle de manière satisfaisante, insuffisante ou imparfaite n'est pas, à notre sens, la question centrale. L'essentiel réside dans sa capacité à mettre en évidence les points de convergence et de divergence entre les acteurs locaux, qui constituent les bases d'un dialogue et d'une communication pour une transformation des pratiques.

Cet exemple montre aussi qu'il est possible, à partir de la carte, de faire émerger de nouvelles perspectives territoriales fondées pour une transformation des pratiques de l'EMAPE. Les avantages pour les milieux ruraux et marginalisés sont considérables. Elle contribue indéniablement à démocratiser le processus d'élaboration des interventions et à mobiliser plus facilement les énergies locales. Par ailleurs, le mode d'expression cartographique facilite l'accès aux connaissances spatiales des orpaillers et permet une évaluation quantitative des informations issues des discours. Les synergies entre savoir scientifique et savoir pratique gagnent ainsi en précision et en pertinence.

Cependant, cette démarche nécessite plusieurs mois, voire plusieurs années, ce qui constitue une limite dans le cadre de cette thèse pour atteindre une transformation durable des pratiques locales. Il convient donc de s'interroger sur les perspectives de déploiement de ce type de démarches. D'autres obstacles en limitent la portée. Les divergences entre les logiques de pensée des acteurs institutionnels et des orpailleurs d'un même territoire, semblent déjà complexes. Que dire alors lorsqu'il s'agit d'un cadre régional ou national ? Malgré toute la bonne volonté, s'intéresser à la participation des orpailleurs, sans s'inscrire dans une perspective de long terme, revient à envisager des situations de dépendance, c'est-à-dire à passer par des intermédiaires pour accéder à l'« objet étudié », à savoir les orpailleurs eux-mêmes. Dès lors, certaines dimensions, parfois essentielles, risquent de rester occultées.

CHAPITRE VII : Conclusion – Discussion Générale

CHAPITRE VII : DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALE : AU PRISME DE LA SCIENCE DE LA DURABILITE

Ce travail de recherche sur la mécanisation de l'exploitation minière artisanale et à petite échelle de l'or dans la préfecture de Siguiri apporte des contributions importantes à la compréhension des dynamiques contemporaines et les enjeux de durabilité associés à cette activité. Bien que plusieurs travaux récents se soient penchés sur la mécanisation de l'EMAPE, ils ont essentiellement adopté des approches qualitatives basées sur des données ethnographiques (e.g., Dessertine *et al.,* 2023 ; Fisher *et al.,* 2023 ; Bolay, 2020 ; Lanzano, 2020 ; Lanzano et Di Belmadi, 2017 ; Dessertine, 2016 ; Luning *et al.,* 2014 ;; ;;). L'objectif de cette thèse n'a pas été de reproduire ces approches, mais de les compléter à travers une méthodologie pluridisciplinaire combinant outils de télédétection, systèmes d'information géographique (SIG), sciences sociales et approches participatives par le prisme de la Science de la Durabilité. Critique des pratiques scientifiques « hors sol », c'est-à-dire « sans terrain », la science de la durabilité enjoint les chercheurs à explorer de nouvelles manières de co-produire les savoirs avec des approches « problème-centrées » visant à concevoir des solutions pratiques en réponse à des problèmes ancrés dans des réalités locales et qui intéressent directement les acteurs sociaux. La résolution de ces problèmes de durabilité implique en effet la construction d'une légitimité sociale pour les chemins de transition proposés vers des sociétés durables, en impliquant les acteurs locaux mis en capacité de discuter des propositions scientifiques et institutionnelles.

En rupture avec les paradigmes dominants de la « formalisation » et de la « modernisation » descendantes, notre travail de recherche a eu pour objectif d'aborder la durabilité de l'EMAPE en Afrique de l'Ouest, et ses conséquences en termes d'évolution des pratiques de recherche, et notamment de suivi environnemental. Dans ce dernier chapitre conclusif, nous présentons de manière synthétique les principales contributions de notre travail de recherche. Nous remettons ensuite en discussions ces résultats au prisme de la durabilité. Nous rappelons que les chercheurs en durabilité s'accordent sur le principe fondamental d'impliquer les

communautés locales dans les changements de pratiques nécessaires pour diminuer les impacts environnementaux et sanitaires de l'orpaillage. Cependant, nous rappelons aussi que la littérature scientifique et institutionnelle à ce sujet se contente bien souvent de poser cette nécessité comme un principe sans apporter de pistes concrètes pour la mettre en œuvre. Ainsi, dans la continuité de notre travail de recherche, nous proposons des pistes concrètes pour de futures recherches sur l'orpaillage en Guinée en vue de contribuer non pas à la formalisation du secteur mais à une durabilité basée sur la mise en capacité des populations locales.

7.1. Contributions de notre travail de recherche

Notre travail de recherche a été guidé par une problématique de recherche dont nous rappelons ici le questionnement : dans un contexte politique de tensions vers la formalisation du secteur de l'EMAPE, comment les innovations techniques transforment-elles les dynamiques socio-spatiales et environnementales des territoires miniers en Guinée ? Nous avions proposé de décliner cette problématique en trois questions de recherche par lesquelles nous proposons ici une présentation synthétique des principales contributions.

7.1.1. Comment des innovations techniques induisent-elles des changements dans la gouvernance de l'EMAPE et questionnent-elles les politiques de formalisation du secteur ?

Notre travail de recherche s'est attaché à documenter l'impact des innovations techniques sur les dynamiques territoriales dans la province de Siguiri. Nous avons ainsi montré que la mécanisation a profondément transformé les dynamiques locales. D'une part, elle a renforcé la productivité des sites d'orpaillage, entraînant une augmentation considérable des surfaces exploitées, comme l'atteste l'analyse des images satellitaires. Entre 2008 et 2023, la superficie des sites d'orpaillage a explosé, passant de 68 hectares à 1324 hectares, avec une période de croissance particulièrement rapide entre 2008 et 2012. D'autre part, elle a reconfiguré les rapports de pouvoir au sein des communautés locales. Les institutions traditionnelles comme le *tomboloma,* jadis garantes de la gouvernance minière locale, ont vu leur rôle marginalisé au profit d'acteurs publics et privés disposant de capitaux et possédant la propriété foncière.

Ainsi, notre hypothèse initiale, selon laquelle « la mécanisation des techniques d'extraction transforme les pratiques et fait émerger de nouveaux acteurs dans la gouvernance locale », est globalement confirmée, bien que ces transformations s'inscrivent dans une dynamique d'évolution parallèle plutôt que de substitution complète.

L'intensification des activités minières s'accompagne également de conséquences environnementales majeures. Les impacts environnementaux s'observent à travers la destruction rapide du couvert végétal, le creusement intensif des sols et le retournement des sols. Ceux-ci sont accentués par l'exploitation continue qui ne permet pas la revégétalisation, exacerbant l'érosion des sols et la dégradation des terres, rendant difficile leur restauration pour des usages agricoles futurs. De plus, l'occupation des plantations d'anacardiers par les activités minières illustre une autre transformation des pratiques foncières, les populations locales cédant souvent leurs plantations pour profiter de la rente minière. Par ailleurs, l'impact environnemental se manifeste également par la concentration des activités le long des cours d'eau. Ces zones, en raison de leur accessibilité et la disponibilité de ressources hydriques, constituent des emplacements privilégiés pour l'installation des laveries par les mineurs artisanaux. Cette exploitation intensive entraîne des conséquences visibles telles que l'ensablement, le tarissement des cours d'eau, ainsi qu'une augmentation de la turbidité des rivières, compromettant durablement la qualité de l'eau. Ces impacts environnementaux confirment notre seconde hypothèse, selon laquelle le développement minier actuel intensifie les pressions sur les ressources naturelles (destruction du couvert végétal, des plantations, détérioration des cours d'eau).

Notre principale contribution porte sans doute sur l'analyse de la reconfiguration des structures de gouvernance locale sous l'effet de la mécanisation. Nous avons montré comment l'introduction de nouvelles technologies fragilise les systèmes coutumiers de gouvernance, notamment le rôle du *tomboloma*, tout en favorisant une concentration des recettes fiscales au profit des autorités publiques ou d'acteurs privés. L'analyse des systèmes sociotechniques a mis en lumière les transformations des modes de production et les tensions sociopolitiques qui en découlent, entraînant de nouvelles formes de hiérarchies

au sein des structures locales. Ces résultats enrichissent ainsi les études précédentes sur les interactions complexes entre innovations technologiques et systèmes sociaux existants.

7.1.2. Quel rôle la télédétection, en tant qu'innovation technique, peut-elle jouer pour une gestion durable de l'orpaillage ?

Une contribution majeure de ce travail de recherche réside dans la documentation et la quantification des transformations spatiales induites par l'intensification et l'expansion de l'EMAPE. Bien que le développement de l'orpaillage ait été largement décrit dans les études précédentes, sa cartographie et sa quantification restaient jusqu'alors peu explorées. En exploitant des données de télédétection, cette recherche a permis de mesurer l'évolution rapide des surfaces exploitées et de caractériser le rythme d'exploitation et les conséquences environnementales (déboisement, expansion des sites) associées. L'utilisation d'images satellite en libre accès, des outils comme Google Earth Engine et des modèles numériques de terrain, cette recherche a permis de mesurer l'évolution rapide des surfaces exploitées par l'EMAPE, de distinguer spatialement les zones artisanales des zones industrielles et d'identifier les rythmes d'expansion des sites.

En permettant la collecte et l'analyse spatiale appliquée aux activités minières, la télédétection apparaît ainsi comme un outil stratégique pour une gestion plus durable de l'orpaillage. En Guinée, l'un des principaux défis de la formalisation réside dans la gestion des espaces miniers : le territoire est en grande partie couvert par des permis industriels, souvent attribués à des entreprises peu actives sur le terrain, tandis que les zones officiellement allouées à l'EMAPE sont limitées à des interstices résiduels. Cette situation favorise les empiètements et les conflits d'usage. Il n'est pas rare, en effet, que des permis soient délivrés à des opérateurs sur des sites déjà investis de longue date par des communautés d'orpailleurs.

Dans ce contexte, la télédétection permet d'objectiver l'occupation réelle du territoire en identifiant les zones effectivement exploitées par l'EMAPE, souvent dispersées, mobiles et non répertoriées dans les bases de données officielles. En dressant des cartes régulièrement mises à jour, elle permet :

- de mieux planifier l'aménagement du territoire, en fonction des dynamiques réelles d'occupation ;

- d’anticiper les conflits d’usage entre acteurs industriels et artisanaux ;
- de cibler les zones à fort impact environnemental pour orienter les actions de remédiation (reforestation, contrôle de la dégradation, etc.) ;
- de fournir un appui à la sélection des sites à formaliser, sur la base d’une connaissance spatiale fine et contextualisée.

Ainsi, la télédétection ne doit pas être envisagée comme un simple outil de surveillance descendante, mais comme un levier de dialogue territorial et de transparence, capable de nourrir une gouvernance plus inclusive de l’orpaillage. À condition que les données produites soient partagées avec les parties prenantes locales, cet outil peut renforcer l’appropriation collective des dispositifs de régulation, et contribuer à une gestion concertée des ressources aurifères.

Enfin, si l’organisation de l’occupation des terres minières exige des outils technologiques avancés, elle requiert également des dispositifs participatifs, capables d’articuler savoirs techniques et savoirs locaux. En ce sens, la télédétection peut contribuer à rendre visibles les dynamiques d’usage de l’espace et à ouvrir des perspectives pour une gestion durable, en lien avec les réalités du terrain.

7.1.3. Comment peut-elle contribuer à la prise en main, par les acteurs locaux, de la mise en œuvre d’une gestion durable de leurs ressources et de leurs pratiques ?

Cette recherche s’est attachée à rendre compte des perceptions des communautés locales face à ces transformations. À travers une démarche de cartographie participative, les populations locales et les mineurs artisanaux ont été impliqués dans l’analyse des dynamiques territoriales et environnementales. Cette approche a révélé des perceptions contrastées : si certains voient dans l’EMAPE une opportunité de développement, d’autres soulignent ses impacts négatifs sur l’environnement et la cohésion sociale. L’intégration des acteurs locaux dans cette démarche a favorisé une mise en dialogue des transformations en cours, tout en ouvrant des pistes pour une formalisation inclusive et durable de l’activité minière.

Cette thèse a ainsi exploré l’apport des approches participatives en mobilisant la cartographie participative pour intégrer les perceptions des acteurs impliqués dans l’EMAPE. Bien que ces approches ne soient pas

nouvelles dans les études sur l'EMAPE en Afrique subsaharienne, elles demeurent encore sous-exploitées. Ce travail alimente le débat sur l'intégration des mineurs artisanaux dans des démarches de transformation des pratiques artisanales, en soulignant l'importance d'une gestion inclusive et durable des activités minières artisanales.

7.2. Questionner l'EMAPE à l'aune de la Science de la Durabilité

7.2.1. Les défis de l'EMAPE pour la science de la durabilité et la science transformative

L'exploitation de l'or est une réalité incontournable dans les communautés rurales d'Afrique subsaharienne pour de nombreuses raisons (Fisher *et al.,* 2023 ; Hilson *et al.* 2017). Cependant, cette activité soulève des défis majeurs en matière de durabilité dans les régions d'exploitation aurifère de la Guinée, comme ailleurs en l'Afrique de l'Ouest. L'EMAPE implique une diversité d'acteurs aux perspectives et aux intérêts variés — orpailleurs, communautés locales, autorités coutumières, gouvernement et services déconcentrés — qui influencent directement leur rapport à l'or et aux enjeux environnementaux. Comme nous l'avons montré, alors que les communautés locales voient dans l'orpaillage une opportunité de subsistance, les instances internationales et les organisations environnementales mettent en avant ses risques pour l'écosystème et la santé. Cette divergence de perspectives souligne la complexité des défis posés par l'EMAPE, rendant difficile la formulation de solutions durables et adaptées.

La transformation de l'exploitation minière artisanale vers une pratique durable est un processus complexe, marqué par des visions concurrentes de la durabilité et des divergences sur la manière dont ce changement doit être mené. Contrairement aux idées de transformation linéaire et orientée vers un but fixe, les chercheurs comme (Fisher *et al.,* 2021) décrivent ce processus comme non linéaire et sans fin fixe. La question de ce qui doit être transformé — par exemple, les pratiques d'extraction, les conditions de travail, ou les impacts environnementaux — révèlent la nature éminemment politique de la durabilité (Scoones, 2016; Scoones *et al.,* 2015). Tandis que certains acteurs privilégient des changements rapides pour limiter l'impact écologique, d'autres plaident pour une approche progressive, mieux adaptée aux conditions socio-économiques locales. Ces visions divergentes reflètent les dynamiques complexes de l'orpaillage, montrant

la nécessité d'adopter des perspectives inclusives et flexibles (Scoones *et al.,* 2020) pour répondre aux besoins des communautés et aux exigences environnementales.

Les politiques de durabilité appliquées de manière descendante, sans prise en compte des réalités locales, risquent donc de négliger des savoirs et détails essentiels pour garantir l'efficacité des actions menées. Huff et Naess (2022) mettent en garde contre les solutions uniformes qui, en ignorant la diversité des contextes locaux, peuvent compromettre l'appropriation des objectifs de durabilité. Pour contourner ce piège, Dominguez Guzmán *et al.,* (2023) suggèrent de se tourner vers les pratiques spécifiques des communautés pour ancrer l'analyse dans des réalités locales. Cette approche permet de donner un sens plus précis aux concepts de transformation et de durabilité, en les adaptant aux besoins et aux contextes des communautés concernées (Rutting *et al.,* 2023; Mehta *et al.,* 2021). Ainsi, il devient possible d'élaborer des stratégies de durabilité qui reconnaissent et intègrent la diversité des expériences et des savoirs, offrant des solutions adaptées et potentiellement plus efficaces sur le terrain.

Dans cette perspective, comme le montrent Fisher *et al.,* (2023), la durabilité dans l'EMAPE ne peut être pensée indépendamment des modes de vie des orpailleurs. Leur étude souligne que les significations locales de la durabilité émergent de dynamiques sociales concrètes — pratiques quotidiennes d'extraction, discours normatifs, rapports aux autorités, précarité de la vie — plutôt que d'idéaux abstraits de développement durable. Ce constat invite à ancrer toute réflexion sur la transformation durable de l'EMAPE dans l'expérience vécue des acteurs et les contextes dans lesquels ils opèrent.

Par ailleurs, pour envisager une transformation durable dans l'EMAPE, il est essentiel d'identifier ce qui change de fait, ce qui doit changer, qui doit porter ce changement, et comment il peut être mis en œuvre de manière pertinente (Fisher *et al.,* 2023 ; O'Brien, 2018). Des recherches antérieures ont mis en évidence les facteurs d'informalité de l'EMAPE (Buxton, 2013 ; Hentschel *et al.,* 2003), ainsi que sur les conditions sociales et environnementales qui en découlent, et ont reconnu la nécessité de perspectives et de connaissances localisées (Buxton, 2013). Dans cette perspective, le rôle du chercheur n'est pas de prescrire ou d'impulser directement des transformations, mais de documenter les perceptions, les pratiques et les

rapports de pouvoir qui structurent l'activité minière. En rendant visibles les tensions, les contradictions et les alternatives portées par les acteurs, la recherche peut contribuer à enrichir les débats et à éclairer les choix des décideurs, sans se substituer aux processus politiques et sociaux en cours. Plutôt que de se limiter à des approches globales et normatives, il s'agit donc d'explorer comment les différentes parties prenantes – mineurs, autorités locales, services déconcentrés, ONG – interprètent et priorisent les enjeux de durabilité, en fonction de leurs contextes, besoins et trajectoires spécifiques. Comme le montrent Scoones et al. (2015), ces différences de perception conditionnent fortement les formes d'action collective possibles. En mettant en lumière ces conceptions plurielles, la recherche contribue à ouvrir des espaces de dialogue sur la durabilité, sans prétendre en dicter les termes.

7.2.2. Au-delà du principe, comment mettre en œuvre la science de la durabilité ?

Face à l'échec de la réglementation et de l'assistance technique, l'accent est donc mis sur le développement d'une planification participative pour discuter et adapter les recommandations aux contextes locaux (Spiegel et Veiga, 2010). Pour Fadlallah *et al.,* (2020), les chercheurs d'or et les résidents locaux devraient être impliqués dans les interventions visant à renforcer les capacités et à promouvoir des pratiques d'extraction de l'or sûres et durables. Friendship et Furgal (2012) soulignent que l'efficacité d'une politique de gestion des risques se mesure à sa capacité à impliquer les communautés locales par la mise en place de partenariats solides. En impliquant les communautés dans la production de connaissances sur les risques, elles seront mieux équipées pour les identifier et les traiter. Comme l'expliquent Stylo *et al.,* (2020), l'approche doit être inclusive et participative lorsqu'il s'agit de mettre en œuvre des stratégies qui favorisent le développement économique local, l'autonomisation des communautés et la protection de la santé humaine et de l'environnement.

La durabilité repose sur l'articulation des perspectives et des objectifs d'une diversité d'acteurs issus de différents domaines et institutions (Duff et Downs, 2019 ; Brandt *et al.,* 2013). Un enjeu clé est d'assurer que les autorités publiques puissent structurer efficacement ces interactions au sein de systèmes multi-acteurs (Duff et Downs, 2019). La participation des parties prenantes aux politiques et projets renforce leur

légitimité, réduit les conflits et favorise une meilleure compréhension des enjeux (Duff et Downs, 2019). Toutefois, sa mise en œuvre soulève plusieurs questions : quels acteurs inclure, comment organiser un dialogue équilibré et quels outils utiliser pour structurer ces échanges ? On l'a vu, des recherches récentes proposent des approches innovantes pour répondre à ces défis (Cerceau *et al.,* 2024 ; Andriamasinoro *et al.,* 2020). Dans la continuité de ces travaux, notre recherche a exploré et questionné le potentiel de la carte en tant qu'« objet-frontière », favorisant l'implication des acteurs locaux – notamment les orpailleurs – dans la réflexion sur l'évolution de leurs pratiques. Mais de manière plus concrète et opérationnelle, de nos travaux de recherche ressortent également des pistes de réflexion pour une prise en compte effective et efficace des dynamiques territoriales et des représentations locales dans les recherches futures sur l'orpaillage en Guinée.

7.2.3. De la pertinence de maintenir les institutions coutumières dans les projets de formalisation du secteur

Bien que fragilisées, les institutions coutumières ne disparaissent pas entièrement. On observe, dans certains contextes, leur recréation sous des formes adaptées. Par exemple, dans la région de Gaoual, l'institution du *tomboloma* a été réactivée avec le soutien des orpailleurs venus de la Haute Guinée, afin de faciliter leur accès aux ressources (Dessertine *et al.,* 2023). Cette réinterprétation illustre la capacité des institutions coutumières à s'adapter aux nouvelles configurations économiques et sociales induites par la mécanisation.

Cependant, les autorités coutumières sont largement ignorées par les cadres juridiques, car la formalisation a toujours été envisagée à substituer les institutions coutumières par les institutions publiques. En effet, en Guinée, des efforts sont actuellement déployés par les bailleurs de fonds internationaux comme la Banque mondiale, les praticiens du développement et le gouvernement national pour aligner l'exploitation minière artisanale et à petite échelle sur la réglementation formelle et le système d'attribution des parcelles. Cette initiative de formalisation en Guinée – ainsi que des réformes similaires visant à régulariser l'EMAPE est connue sous le nom de « parcellisation ». Selon cette vision, l'établissement de droits de propriété formelle entraînerait la « modernisation » de l'EMAPE. L'objectif est de promouvoir une exploitation minière plus

respectueuse de l'environnement, génératrice de développement local et économiquement bénéfique pour l'État. En effet, les autorités centrales ont été largement exclues de la fiscalité locale de l'orpaillage, bien que les structures déconcentrées de l'administration aient souvent mis en place des formes de taxation locale, souvent de manière informelle (Dessertine *et al.,* 2023). Ainsi, au niveau local, les services déconcentrés du ministère des Mines peuvent percevoir des taxes annuelles sur les concasseurs mécanisés, tandis que les services des Eaux et Forêts – Environnement imposent d'autres prélèvements sur les sites miniers et les concasseurs. Par ailleurs, les forces de gendarmerie instaurent des péages sur le passage des orpailleurs et procèdent parfois à des arrestations pour pratiques jugées illégales, exigeant des paiements en échange de la libération de ces orpailleurs. Ces taxes sont instaurées en dehors du cadre légal ou sont appliquées sous forme d'amendes, et sont souvent redistribuées de manière complexe entre divers niveaux administratifs. Ces pratiques alimentent un système de taxation lucratif, qui détourne l'application des lois nationales et contribue à la persistance de l'informalisation de l'EMAPE, déjà soulignée dans la littérature (Van Bockstael, 2014).

Par ailleurs, le paradigme de « modernité » limite considérablement l'intérêt des autorités publiques centrales pour l'EMAPE qui priorisent l'exploitation industrielle. Ainsi, les petits exploitants se voient souvent expulsés dans les mines, même lorsque les entreprises industrielles titulaires des permis n'exploitent pas effectivement les sites concernés (Dessertine et Noûs, 2021 ; Bolay, 2014). L'informalité ne résulte pas alors, d'une simple passivité des acteurs, mais s'inscrit dans des dynamiques structurelles plus larges.

7.3. Pistes pour de futures recherches sur l'orpaillage en Guinée

Les enquêtes de terrain menées en Guinée dans le cadre de cette thèse ont mis en évidence les enjeux multiples liés à la durabilité de l'exploitation minière artisanale et à petite échelle (EMAPE). Les résultats montrent que les transformations actuelles du secteur sont marquées par des tensions entre dynamiques locales, pressions environnementales, contraintes économiques et évolutions réglementaires.

Si l'orpaillage constitue une activité essentielle pour de nombreuses populations rurales, son inscription dans une trajectoire durable reste incertaine. L'épuisement progressif des ressources aurifères, la mécanisation et l'intensification des techniques d'extraction, la criminalisation croissante des mineurs et l'hybridité des formes de gouvernance (locales, nationales, coutumières, juridiques, etc.) questionnent la viabilité à long terme du secteur. Dans ce contexte, plusieurs questions émergent : comment concilier les logiques d'exploitation avec la préservation des ressources naturelles et des écosystèmes ? Comment intégrer les acteurs locaux dans les décisions qui façonnent l'avenir de l'orpaillage ? Quelles adaptations sont nécessaires pour que cette activité reste une source de revenus viable tout en limitant ses impacts sociaux et environnementaux ? Enfin, comment penser la formalisation dans une perspective de durabilité, en évitant qu'elle ne marginalise davantage les acteurs les plus précaires du secteur ?

À partir des résultats empiriques de cette recherche, cinq pistes pour de futures recherches se dégagent pour approfondir les enjeux de durabilité de l'EMAPE en Guinée et plus largement en Afrique de l'Ouest.

7.3.1. De la difficile mise en place des couloirs d'orpaillage : questionner les limites spatiales de la formalisation pour s'adapter aux dynamiques territoriales locales

Au cours des trois dernières décennies, la formalisation de l'exploitation minière artisanale et à petite échelle (EMAPE) s'est imposée comme une priorité croissante en Afrique subsaharienne et dans d'autres régions du monde en développement. Au cours de cette période, la majorité des gouvernements ont conservé une approche similaire, appliquant à l'EMAPE des modèles inspirés de l'exploitation minière industrielle. Cette orientation se manifeste principalement par l'instauration de lois comparables, imposant aux mineurs l'obtention de permis conformément à la législation, leur enregistrement auprès des autorités compétentes et le respect de mécanismes de suivi et d'évaluation des activités minières. Dans cette logique, l'octroi de droits de propriété formels est perçu comme un levier pour renforcer la protection de l'environnement, favoriser le développement local et garantir des retombées économiques pour l'État.

Aujourd'hui, en Guinée, comme dans d'autres pays de la sous-région, des initiatives sont mises en œuvre par les bailleurs de fonds internationaux, notamment la Banque mondiale, ainsi que par les acteurs du développement et le gouvernement national, afin d'intégrer l'EMAPE dans un cadre réglementaire structuré. Cette démarche, connue sous le nom de « parcellisation », vise à formaliser l'EMAPE en ouvrant des couloirs dédiés aux mineurs artisanaux. Selon cette perspective, l'instauration d'un espace délimité favoriserait la « modernisation » du secteur, avec pour ambition de promouvoir une exploitation minière plus durable, respectueuse de l'environnement, génératrice de développement local et économiquement avantageuse pour l'État.

Cependant, sur le terrain, la majorité des mineurs déclarent ne pas avoir connaissance des processus et procédures formels encadrant l'EMAPE. De plus, la philosophie des couloirs d'orpaillage, qui repose sur une fixation des orpailleurs dans des zones délimitées, est en contradiction avec la nature même de cette activité, caractérisée par une forte mobilité.

L'accès aux couloirs est également entravé par des exigences administratives et financières. En plus des démarches de constitution de dossiers, les mineurs doivent s'acquitter de frais d'autorisation de 50 000 FG (Arrêté ministériel, 1986). Ces formalités constituent un obstacle majeur à la mise en œuvre effective de la formalisation. Par ailleurs, cette approche ignore souvent les modes de gestion coutumiers de l'orpaillage, où les communautés organisent l'exploitation de l'or et perçoivent des taxes informelles qui financent des infrastructures locales. Étant donné que tous les villages ne sont pas inclus dans les couloirs, leur application généralisée s'avère complexe.

Un autre problème réside dans la définition même de ces couloirs. Ceux-ci sont délimités par la division de l'exploitation minière artisanale de la Direction Nationale des Mines, sans nécessairement prendre en compte les réalités socio-spatiales et géologiques des zones concernées. En effet, ces espaces ne sont généralement pas sélectionnés en fonction du potentiel aurifère ou des activités minières déjà en place, mais plutôt sur la base de zones interstitielles entre des permis industriels ou des terrains rétrocédés par des

sociétés minières. En conséquence, la disponibilité des couloirs dépend largement de la libération d'espaces par les compagnies minières (Gouvernement, 2017), rendant leur accès incertain et fluctuant.

La gestion de ces couloirs reste également problématique, en raison d'un manque de coordination et de suivi efficace. Par exemple, dans la région de Siguiri, plusieurs couloirs désignés en 2022 n'apparaissaient pas sur le cadastre national, illustrant des incohérences entre les différentes instances responsables. De plus, en 2024, une partie significative de ces zones avait été attribuée à des permis d'exploitation semi-industrielle, réduisant d'autant l'espace accessible aux orpailleurs. L'application et le respect des limites des couloirs nécessitent un suivi rigoureux, un défi de taille pour les autorités guinéennes qui disposent de ressources humaines, financières et logistiques limitées. L'absence de contrôle adéquat conduit fréquemment à des exploitations en dehors des zones définies, rendant ces délimitations inefficaces.

Ainsi, bien que les couloirs d'orpaillage visent à structurer une activité essentielle pour de nombreuses populations, ils souffrent de multiples lacunes : une délimitation inadaptée, un manque de contrôle, une faible appropriation locale et une inadéquation avec les dynamiques réelles de l'orpaillage.

Une attention accrue devrait porter sur l'applicabilité de ces couloirs, en explorant comment ces zones sont délimitées et attribuées. Il serait essentiel d'analyser les conflits d'usage, notamment les tensions entre les espaces alloués aux entreprises minières industrielles et ceux réservés aux mineurs artisanaux. Une étude approfondie des pratiques coutumières locales d'exploitation de l'or, qui reposent sur une mobilité et une flexibilité, pourrait également permettre d'adopter une approche plus adaptative et respectueuse des dynamiques locales.

7.3.2. De l'ignorance des distinctions entre orpailleurs et commerçants : explorer en détail la structuration de la chaîne de valeur de l'orpaillage pour éviter de durcir les inégalités

La chaîne de valeur de l'exploitation artisanale de l'or s'appuie sur une diversité d'acteurs aux rôles distincts, intervenant à différents niveaux et étapes du processus. Parmi les acteurs directement impliqués dans la production, on retrouve les jeunes hommes creusant les puits à la pioche, les femmes assurant la

remontée du minerai, les personnes âgées participant au traitement, ainsi que ceux utilisant des équipements tels que des détecteurs de métaux, des marteaux-piqueurs ou opérant dans des ateliers de concassage. Ces groupes d'acteurs constituent la majorité des travailleurs du secteur.

En parallèle, la chaîne de commercialisation repose sur des acteurs disposant de ressources financières conséquentes et de réseaux étendus, tant au niveau national qu'international. Parmi eux, les acheteurs d'or – balanciers et collecteurs – occupent une place stratégique dans la valorisation et la distribution du métal précieux. Entre l'extraction et la commercialisation, de nombreuses autres professions gravitent autour du secteur : fondeurs et testeurs pour le raffinage, commerçants de matériel spécialisé, forgerons, ainsi que divers prestataires de services informels tels que restaurateurs, blanchisseuses ou encore travailleuses du sexe.

Bien que certains orpailleurs, grâce à leur expérience, l'accumulation de gains ou l'étendue de leurs réseaux, puissent évoluer vers des postes d'acheteurs d'or, ces transitions demeurent marginales. Il arrive qu'un individu cumule les fonctions de mineur et de balancier, mais ces cas restent rares. Les mineurs, qui forment la base opérationnelle du secteur, constituent à la fois sa principale force motrice et son groupe le plus vulnérable. Parmi eux, les femmes représentent plus de 50 % des effectifs (Sow, 2003), mais elles demeurent particulièrement exposées aux inégalités économiques.

Les politiques de formalisation, en négligeant la distinction entre orpailleurs et commerçants, risquent d'exacerber ces inégalités. En structurant et en encadrant l'exploitation minière artisanale à travers des dispositifs de taxation et de contrôle, la formalisation pourrait conduire à l'émergence d'un secteur réglementé et organisé, mais inaccessible aux populations les plus précaires. Cette distinction entre production et commercialisation est pourtant bien visible sur le terrain. Par exemple, peu de mineurs adhèrent à l'Union Nationale des Orpailleurs de Guinée (UNOG), perçue comme un organe défendant avant tout les intérêts des commerçants. De même, les autorités coutumières reconnaissent cette différenciation en exemptant les balanciers de taxes dans le *bé*, bien qu'ils y opèrent.

Il est nécessaire à l'avenir d'explorer la structuration la chaîne de valeur de l'orpaillage. Comment influence-t-elle les politiques de taxation et de régulation ? Comment pourrait-elle être prise en compte dans les politiques de formalisation ? Une étude comparative des rôles des orpailleurs et des commerçants permettrait également de mieux comprendre les inégalités économiques, notamment celles qui touchent particulièrement les femmes et les populations les plus précaires, souvent exclues des bénéfices économiques engendrés par l'orpaillage. Une telle recherche pourrait aussi identifier les mécanismes permettant de réduire ces inégalités, par exemple en concevant des politiques publiques plus adaptées aux réalités des mineurs et en garantissant une meilleure régulation du secteur.

Note sur l'organisation et les procédures de raffinage de l'or à Siguiri : un maillon peu étudié de la chaîne

Les fonderies d'or jouent un rôle essentiel dans la chaîne de production et de commercialisation du métal précieux. Ces fonderies se situent souvent dans les grands centres-villes comme à Siguiri-centre, dans une cour dédiée à cette activité. Ces établissements reçoivent principalement de l'or brut en provenance des balanciers et des collecteurs d'or, qui font appel à leurs services pour affiner et transformer le minerai en lingots. Le processus commence par la pesée de l'or sur une balance de précision. Afin d'éliminer les impuretés, notamment le fer et le cuivre potentiellement présents dans le métal, les ouvriers ajoutent parfois de l'acide ou du nitrate. Ensuite, du borax, un composé chimique facilitant la fusion, est appliqué sur le matériau. L'or est alors soumis à une forte chaleur à feu de charbon dans une marmite spécialement conçue à cet effet. Après une période de fusion, le métal liquide est récupéré et coulé en barre. Le métal est ensuite placé sous presse afin d'aplatir la barre d'or et de la transformer en petits lingots. Une fois solidifiés, ces lingots sont envoyés au bureau de test, où leur poids et leur teneur en carats sont évalués, puis une étiquette indiquant ces informations est apposée sur chaque lingot. Pour déterminer la perte de matière, le mineur soustrait le poids final du poids initial. Plus l'or contient d'impuretés, plus cette différence est importante. Ces mesures sont soigneusement consignées dans un registre à des fins d'archivage. En effet, si l'or en lingot est envoyé à la vente et que les informations fournies ne correspondent pas, c'est la fonderie qui en

assume la responsabilité. Au moment de nos enquêtes, la rémunération de la fonderie s'élevait à 1 000 francs guinéens par gramme d'or traité.

Les fonderies adoptent des structures organisationnelles variables. Elles sont dirigées par un gestionnaire, appelé le patron, parfois assisté d'associés, et emploient généralement entre 10 et 15 ouvriers, bien que les plus grandes puissent compter jusqu'à 20 travailleurs. Dans la majorité des cas, le patron participe activement aux opérations, notamment en supervisant le pesage de l'or. Les autres travailleurs se répartissent les tâches, telles que l'enregistrement des mesures, la fusion et le pressage du métal.

La rémunération des employés peut prendre la forme d'un paiement en nature, avec un revenu mensuel variant entre 2 et 3 millions de francs guinéens. Toutefois, la plupart des fonderies privilégient un système de répartition des gains. Dans ce modèle, 20 % du revenu mensuel est consacré à la location du site, 20 à 25 % couvrent les dépenses opérationnelles, y compris l'achat des intrants et le repas des travailleurs, tandis que le reste est divisé en trois parts : l'une revient au patron pour amortir ses dépenses, et les deux autres sont partagées entre les travailleurs, le patron étant lui-même inclus dans cette catégorie. Les ouvriers employés dans ces fonderies sont majoritairement des nationaux.

Les fonderies constituent un maillon intermédiaire dans la chaîne de production et de commercialisation de l'or. Leur rôle se limite au raffinage et à la transformation du métal en lingots, tandis que la vente de l'or reste sous la responsabilité de son propriétaire. Néanmoins, les fonderies augmentent la valeur de l'or et favorisent la création de valeur ajoutée locale dans la chaine de production de l'or en Guinée. Elles s'insèrent ainsi dans un réseau plus vaste reliant les collecteurs d'or aux commerçants et aux marchés spécialisés.

L'utilisation du borax, de l'acide et du charbon de bois dans les fonderies est intimement liée à la technique rudimentaire utilisée par ces fondeurs. Par ailleurs, la promotion de technologies plus performantes et respectueuses de l'environnement pour la récupération de l'or pourrait constituer une solution durable pour réduire ces impacts. Cette technologie doit avant tout garantir une récupération efficace de l'or. Une

approche à plusieurs niveaux pourrait être mise en place pour limiter l'usage du mercure. Cela inclurait notamment la sensibilisation des utilisateurs, avec une attention particulière portée aux acheteurs d'or, qui jouent un rôle central dans son utilisation, bien plus encore que les orpailleurs. Par ailleurs, le recours à des équipements de protection individuelle constituerait une mesure essentielle pour réduire les risques liés à cette pratique.

7.4. Synthèse de la thèse

L'orpaillage en Guinée s'inscrit dans une longue histoire d'exploitation aurifère fondée sur un ensemble de techniques, de normes et de principes, encadrés par des institutions coutumières et organisés autour d'un système de gestion spatialisé et collectif appelé le *bé*. Longtemps tolérée et faiblement encadrée par l'État, cette activité a connu, depuis le début des années 2000, une transformation rapide, marquée par une mécanisation progressive. Introduites de manière informelle, ces innovations ont entraîné une redéfinition des normes sociales de production.

Les résultats de cette recherche montrent en effet que la mécanisation a modifié les pratiques d'orpaillage, entraînant une reconfiguration des rapports de pouvoir au sein des territoires miniers. Elle a favorisé l'émergence de nouveaux acteurs — investisseurs privés, propriétaires fonciers, chefs de district — qui réorganisent les circuits économiques et décisionnels. Ces transformations ne relèvent pas d'un remplacement brutal des structures existantes, mais d'une évolution parallèle, où les systèmes traditionnels coexistent avec de nouvelles formes de gouvernance. Ces dynamiques mettent en tension les politiques de formalisation de l'EMAPE promues à l'échelle nationale et internationale. Portées par des logiques de codification juridique et de contrôle technique (zonages), ces politiques tendent à ignorer les reconfigurations sociales en cours sur le terrain. Loin d'intégrer les institutions coutumières et les pratiques territoriales locales, elles contribuent parfois à accentuer l'informalité, en tentant d'imposer des cadres inadaptés aux réalités du terrain. En ce sens, l'hypothèse selon laquelle la mécanisation fait émerger de nouveaux acteurs influents dans la mise en œuvre des politiques de formalisation est confirmée.

L’analyse d’images satellites et de modèles numériques de terrain a permis de quantifier l’expansion des sites d’orpaillage, avec une augmentation de plus de 2000 % des superficies exploitées entre 2008 et 2023. Elle a également permis d’identifier les zones les plus affectées par la surexploitation, et de distinguer les espaces exploités de manière artisanale de ceux investis par des opérateurs industriels. Ces résultats valident notre seconde hypothèse : la télédétection constitue un outil pertinent pour le suivi environnemental de l’EMAPE et pour la production de données utiles à une gestion plus durable des ressources.

Enfin, notre recherche a montré que les démarches de cartographie participative permettent d’intégrer les savoirs locaux des orpailleurs et des communautés dans l’analyse des dynamiques territoriales. Cette approche a révélé des perceptions contrastées : certains acteurs perçoivent la mécanisation comme une opportunité économique, tandis que d’autres en dénoncent les effets négatifs sur l’environnement et la cohésion sociale. En favorisant l’expression de ces points de vue multiples, la cartographie participative contribue à une meilleure compréhension des enjeux locaux et ouvre des pistes pour une formalisation plus inclusive. Ces résultats confirment notre troisième hypothèse : les démarches participatives transforment les représentations liées à la mécanisation de l’EMAPE.

Cette thèse propose ainsi une approche pluridisciplinaire et participative des transformations de l’orpaillage en Guinée, à l’intersection entre sciences sociales, participatives et sciences environnementales. Elle repose sur une double posture : observer les mutations du secteur artisanal mécanisé à partir des dynamiques territoriales concrètes, tout en mobilisant des outils d’analyse spatiale pour documenter les effets environnementaux et interroger les représentations des acteurs. Cette démarche permet d’aborder les enjeux de durabilité non comme une finalité normative, mais comme un processus situé, négocié et traversé par des rapports de pouvoir. En cela, la thèse propose un cadre d’analyse utile pour penser l’aménagement des territoires miniers en Afrique de l’Ouest, au-delà du seul cas guinéen. Elle ouvre également des perspectives pour de futures recherches articulant instruments de régulation, savoirs locaux et processus de formalisation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abaidoo, C. A., Osei Jnr, E. M., Arko-Adjei, A., & Prah, B. E. K. (2019). Monitoring the Extent of Reclamation of Small Scale Mining Areas Using Artificial Neural Networks. *Heliyon*, *5*(4), Article 4. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01445

Abass Saley, A., Baratoux, D., Baratoux, L., Ahoussi, K. E., Yao, K. A., & Kouamé, K. J. (2021). Evolution of the Koma Bangou Gold Panning Site (Niger) From 1984 to 2020 Using Landsat Imagery. *Earth and Space Science*, *8*(11), e2021EA001879. https://doi.org/10.1029/2021EA001879

Abe, C. A., Lobo, F. L., Novo, E. M. L. de M., Costa, M., & Dibike, Y. (2019). Modeling the effects of land cover change on sediment concentrations in a gold-mined Amazonian basin. *Regional Environmental Change*, *19*(6), 1801-1813. https://doi.org/10.1007/s10113-019-01513-8

Achina-Obeng, R., & Aram, S. A. (2022). Informal artisanal and small-scale gold mining (ASGM) in Ghana : Assessing environmental impacts, reasons for engagement, and mitigation strategies. *Resources Policy*, *78*, 102907. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102907

Adam, J. N., Adams, T., Gerber, J.-D., & Haller, T. (2021). Decentralization for Increased Sustainability in Natural Resource Management? Two Cautionary Cases from Ghana. *Sustainability*, *13*(12), Article 12. https://doi.org/10.3390/su13126885

Adams, W. M. (2019). Geographies of conservation II : Technology, surveillance and conservation by algorithm. *Progress in Human Geography*, *43*(2), 337-350. https://doi.org/10.1177/0309132517740220

Adebiyi, J. A., & Olabisi, L. S. (2022). Participatory Causal Loop Mapping of the Adoption of Organic Farming in Nigeria. *Environmental Management*, *69*(2), 410-428. https://doi.org/10.1007/s00267-021-01580-w

Adewumi, A. J., & Laniyan, T. A. (2020). Contamination, sources and risk assessments of metals in media from Anka artisanal gold mining area, Northwest Nigeria. *Science of The Total Environment*, *718*, 137235. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137235

Adler Miserendino, R., Bergquist, B. A., Adler, S. E., Guimarães, J. R. D., Lees, P. S. J., Niquen, W., Velasquez-López, P. C., & Veiga, M. M. (2013). Challenges to measuring, monitoring, and addressing the cumulative impacts of artisanal and small-scale gold mining in Ecuador. *Resources Policy*, *38*(4), Article 4. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2013.03.007

Adranyi, E., Stringer, L. C., & Altink, H. (2023). The impacts of artisanal and small-scale gold mining on rural livelihood trajectories : Insights from Ghana. *The Extractive Industries and Society*, *14*, 101273. https://doi.org/10.1016/j.exis.2023.101273

Afane, A., & Gagnol, L. (2021). Une ruée vers l'or contemporaine au Sahara : L'extractivisme aurifère informel au nord du Niger. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, *Volume 20 numéro 3*, Article Volume 20 numéro 3. https://doi.org/10.4000/vertigo.29044

Aggrey, J. J., Ros-Tonen, M. A. F., & Asubonteng, K. O. (2021). Using Participatory Spatial Tools to Unravel Community Perceptions of Land-Use Dynamics in a Mine-Expanding Landscape in Ghana. *Environmental Management*, *68*(5), 720-737. https://doi.org/10.1007/s00267-021-01494-7

Agyei, G. (2016). Internationalisation of Artisanal and Small Scale Mining in Ghana : Opportunities and Challenges. *Ghana Mining Journal*, *16*(2), Article 2. https://doi.org/10.4314/gm.v16i2.3

Ajith, M. M., Ghosh, A. K., & Jansz, J. (2021). A mixed-method investigations of work, government and social factors associated with severe injuries in artisanal and small-scale mining (ASM) operations. *Safety Science*, *138*, 105244. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105244

Aktouf, Omar. (2006). *Méthodologie des sciences sociales et approche qualitative des organisations : Une introduction à la démarche classique et une critique*. J.-M. Tremblay. https://doi.org/10.1522/cla.ako.met

Alessi, M. A., Chirico, P. G., Sunder, S., & O'Pry, K. L. (2023). Detection and Monitoring of Small-Scale Diamond and Gold Mining Dredges Using Synthetic Aperture Radar on the Kadéï (Sangha) River, Central African Republic. *Remote Sensing*, *15*(4), Article 4. https://doi.org/10.3390/rs15040913

Almeida-Filho, R., & Shimabukuro, Y. E. (2002). Digital processing of a Landsat-TM time series for mapping and monitoring degraded areas caused by independent gold miners, Roraima State, Brazilian Amazon. *Remote Sensing of Environment*, *79*(1), 42-50. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00237-1

Alvarez-Berríos, N. L., L'Roe, J., & Naughton-Treves, L. (2021). Does formalizing artisanal gold mining mitigate environmental impacts? Deforestation evidence from the Peruvian Amazon. *Environmental Research Letters*. https://doi.org/10.1088/1748-9326/abede9

Amelot, X. (2013). Cartographie participative pour le développement local et la gestion de l'environnement à Madagascar : Empowerment, impérialisme numérique ou illusion participative ? *L'Information géographique*, *77*(4), 47-67. https://doi.org/10.3917/lig.774.0047

Ammirati, L., Mondillo, N., Rodas, R. A., Sellers, C., & Di Martire, D. (2020). Monitoring Land Surface Deformation Associated with Gold Artisanal Mining in the Zaruma City (Ecuador). *Remote Sensing*, *12*(13), Article 13. https://doi.org/10.3390/rs12132135

Anau, N., Corbett, J., Iwan, R., van Heist, M., Limberg, G., Sudana, M., & Wollenberg, E. (2003). Do communities need to be good mapmakers? *Policy Brief. Jakarta, Indonesia: CIFOR*. https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=db211ca1dcac826344bfce615285d2d69a8f412d

Anderson, J. R. (1976). *A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data*. U.S. Government Printing Office.

Andriamasinoro, F., Hohmann, A., Douguet, J.-M., & Angel, J.-M. (2020). Serious games as a social learning tool in formalizing the artisanal and small-scale mining sector in African territories. *The Extractive Industries and Society*, *7*(3), Article 3. https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.07.017

Ang, M. L. E., Arts, D., Crawford, D., Labatos Jr., B. V., Ngo, K. D., Owen, J. R., Gibbins, C., & Lechner, A. M. (2021). Socio-environmental land cover time-series analysis of mining landscapes using Google Earth Engine and web-based mapping. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *21*, 100458. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100458

Ankenbrand, C., Welter, Z., & Engwicht, N. (2021). Formalization as a tool for environmental peacebuilding? Artisanal and small-scale mining in Liberia and Sierra Leone. *International Affairs*, *97*(1), Article 1. https://doi.org/10.1093/ia/iiaa199

Antwi-Boateng, O., & Akudugu, M. A. (2020). Golden Migrants : The Rise and Impact of Illegal Chinese Small-Scale Mining in Ghana. *Politics & Policy*, *48*(1), 135-167. https://doi.org/10.1111/polp.12342

Appoh, R. K., Doamekpor, L. K., Hayford, E. K., Klake, R. K., & Nartey, V. K. (2011). Assessment of Mercury Pollution in Rivers and Streams around Artisanal Gold Mining Areas of the Birim North District of Ghana. *Journal of Environmental Protection*, *2*(9), Article 9. https://doi.org/10.4236/jep.2011.29141

Arifin, Y., Sakakibara, M., & Sera, K. (2015). Impacts of Artisanal and Small-Scale Gold Mining (ASGM) on Environment and Human Health of Gorontalo Utara Regency, Gorontalo Province, Indonesia. *Geosciences*, *5*(2), Article 2. https://doi.org/10.3390/geosciences5020160

Arnaldi di Balme, L., & Lanzano, C. (2013). « Entrepreneurs de la frontière » : Le rôle des comptoirs privés dans les sites d'extraction artisanale de l'or au Burkina Faso. *Politique africaine*, *131*(3), Article 3. https://doi.org/10.3917/polaf.131.0027

Arthur-Holmes, F., & Abrefa Busia, K. (2022). Women, North-South migration and artisanal and small-scale mining in Ghana : Motivations, drivers and socio-economic implications. *The Extractive Industries and Society*, *10*, 101076. https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101076

Asner, G. P., Llactayo, W., Tupayachi, R., & Luna, E. R. (2013). Elevated rates of gold mining in the Amazon revealed through high-resolution monitoring. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(46), 18454-18459. https://doi.org/10.1073/pnas.1318271110

Asubonteng, K. O., Ros-Tonen, M. A. F., Baud, I., & Pfeffer, K. (2021). Envisioning the Future of Mosaic Landscapes : Actor Perceptions in a Mixed Cocoa/Oil-Palm Area in Ghana. *Environmental Management*, *68*(5), 701-719. https://doi.org/10.1007/s00267-020-01368-4

Avelino, F., & Wittmayer, J. M. (2016). Shifting Power Relations in Sustainability Transitions : A Multi-actor Perspective. *Journal of Environmental Policy & Planning*, *18*(5), 628-649. https://doi.org/10.1080/1523908X.2015.1112259

Awotwi, A., Anornu, G. K., Quaye-Ballard, J. A., & Annor, T. (2018). Monitoring land use and land cover changes due to extensive gold mining, urban expansion, and agriculture in the Pra River Basin of Ghana, 1986–2025. *Land Degradation & Development*, *29*(10), 3331-3343. https://doi.org/10.1002/ldr.3093

Ayiwouo, M. N., Sriram, S., Ngounouno, F. Y., Rajagopal, K., & Ngounouno, I. (2023). Assessment of the environmental impacts of gold mining activities at Gankombol (Adamawa-Cameroon) using Leopold matrix, Fecteau grid and remote sensing approach. *Journal of African Earth Sciences*, *207*, 105050. https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2023.105050

Baddianaah, I., Baatuuwie, B., & Adongo, R. (2022). Mapping the spatio-temporal land use land cover trends in the Guinea Savannah artisanal and small-scale mining (galamsey) landscape of Ghana. *Journal of Energy and Natural Resource Management*, *8*, 21-26. https://doi.org/10.26796/jenrm.v8i2.202

Balandier, G. (1957). Les conditions sociologiques du développement. *Politique étrangère*, *22*(3), 301-310.

Bamba, O., Pelede, S., Sako, A., Kagambega, N., & Miningou, M. Y. W. (2013). *Impact de l'artisanat minier sur les sols d'un environnement agricole amenage au Burkina Faso*. *13*, 11.

Banchirigah, S. M. (2008). Challenges with eradicating illegal mining in Ghana : A perspective from the grassroots. *Resources Policy*, *33*(1), 29-38. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2007.11.001

Bank, M. S. (2020). The mercury science-policy interface : History, evolution and progress of the Minamata Convention. *Science of the Total Environment*, *722*, 137832.

Banque Mondiale, W. (2005). The millennium development goals and small-scale mining : A conference for forging partnerships for action. *Workshop Report*.

Bansah, K. J., Dumakor-Dupey, N. K., Kansake, B. A., Assan, E., & Bekui, P. (2018). Socioeconomic and environmental assessment of informal artisanal and small-scale mining in Ghana. *Journal of Cleaner Production*, *202*, 465-475. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.150

Bansah, K. J., Yalley, A. B., & Dumakor-Dupey, N. (2016). The hazardous nature of small scale underground mining in Ghana. *Journal of Sustainable Mining*, *15*(1), 8-25. https://doi.org/10.1016/j.jsm.2016.04.004

Barenblitt, A., Payton, A., Lagomasino, D., Fatoyinbo, L., Asare, K., Aidoo, K., Pigott, H., Som, C. K., Smeets, L., Seidu, O., & Wood, D. (2021). The large footprint of small-scale artisanal gold mining in Ghana. *The Science of the Total Environment*, *781*, 146644. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146644

Barry, O. T. (2022). *La Guinée et la CBG : Les enjeux d'un dilemme géopolitique*. https://www.torrossa.com/gs/resourceProxy?an=5509346&publisher=FZ2990

Bartolucci, A., Marconi, M., Magni, M., Pierdicca, R., Malandra, F., Ho, T. C., Vitali, A., & Urbinati, C. (2022). Combining Participatory Mapping and Geospatial Analysis Techniques to Assess Wildfire Risk in Rural North Vietnam. *Environmental Management*, *69*(3), 466-479. https://doi.org/10.1007/s00267-021-01582-8

Basu, N., Clarke, E., Green, A., Calys-Tagoe, B., Chan, L., Dzodzomenyo, M., Fobil, J., Long, R. N., Neitzel, R. L., Obiri, S., Odei, E., Ovadje, L., Quansah, R., Rajaee, M., & Wilson, M. L. (2015). Integrated Assessment of Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Ghana—Part 1 : Human Health Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *12*(5), Article 5. https://doi.org/10.3390/ijerph120505143

Bazillier, R., & Girard, V. (2020). The gold digger and the machine. Evidence on the distributive effect of the artisanal and industrial gold rushes in Burkina Faso. *Journal of Development Economics*, *143*, 102411. https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2019.102411

Beaudoin, G., Rafanoharana, S., Boissière, M., Wijaya, A., & Wardhana, W. (2016). Completing the Picture : Importance of Considering Participatory Mapping for REDD+ Measurement, Reporting and Verification (MRV). *PLOS ONE*, *11*(12), e0166592. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166592

Beavogui, M. (2014). *Structural controls of gold mineralisation in Seguelen pit of Siguiri gold mine, Guinea*. 89.

Beckers, F., & Rinklebe, J. (2017). Cycling of mercury in the environment : Sources, fate, and human health implications: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *47*(9), 693-794. https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1326277

Benkalha, A., Diallo, B., Diawara, I., Faye, I. M., Hochet, P., & Rey, P. (2016). Étude sur la situation et les enjeux du foncier rural en guinee. *AFD - Insuco - Gret*, 67.

Bennett, N. J. (2016). Using perceptions as evidence to improve conservation and environmental management. *Conservation Biology*, *30*(3), 582-592. https://doi.org/10.1111/cobi.12681

Bennett, N. J., Di Franco, A., Calò, A., Nethery, E., Niccolini, F., Milazzo, M., & Guidetti, P. (2019). Local support for conservation is associated with perceptions of good governance, social impacts, and ecological effectiveness. *Conservation Letters*, *12*(4), e12640. https://doi.org/10.1111/conl.12640

Bennett, N. J., Roth, R., Klain, S. C., Chan, K., Christie, P., Clark, D. A., Cullman, G., Curran, D., Durbin, T. J., Epstein, G., Greenberg, A., Nelson, M. P., Sandlos, J., Stedman, R., Teel, T. L., Thomas, R., Veríssimo, D., & Wyborn, C. (2017). Conservation social science : Understanding and integrating human dimensions to improve conservation. *Biological Conservation*, *205*, 93-108. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.006

Berkers, E., & Geels, F. W. (2011). System innovation through stepwise reconfiguration : The case of technological transitions in Dutch greenhouse horticulture (1930–1980). *Technology Analysis & Strategic Management*, *23*(3), 227-247. https://doi.org/10.1080/09537325.2011.550392

Bester, V. (2023). Towards a sustainable artisanal gold mining sector in South Africa : Proposed developmental initiatives. *Journal of Rural Studies*, *97*, 375-384. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.12.029

Béziat, D., Dubois, M., Debat, P., Nikiéma, S., Salvi, S., & Tollon, F. (2008). Gold metallogeny in the Birimian craton of Burkina Faso (West Africa). *Journal of African Earth Sciences*, *50*(2), 215-233. https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2007.09.017

Bikubanya, D.-L., & Radley, B. (2022). Productivity and profitability : Investigating the economic impact of gold mining mechanisation in Kamituga, DR Congo. *The Extractive Industries and Society*, *12*, 101162. https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101162

Bissonnette, J. (2019). Chapitre 13. Vivre ou suivre la méthode ? Le dilemme de l'entretien. In *Recherche qualitative en sciences sociales* (p. 227-231). EMS Éditions. https://doi.org/10.3917/ems.mori.2019.01.0227

Black, P., Richard, M., Rossin, R., & Telmer, K. (2017). Assessing occupational mercury exposures and behaviours of artisanal and small-scale gold miners in Burkina Faso using passive mercury vapour badges. *Environmental Research*, *152*, 462-469. https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.06.004

Block, S., Baratoux, L., Zeh, A., Laurent, O., Bruguier, O., Jessell, M., Ailleres, L., Sagna, R., Parra-Avila, L. A., & Bosch, D. (2016). Paleoproterozoic juvenile crust formation and stabilisation in the south-eastern West African Craton (Ghana); New insights from U-Pb-Hf zircon data and geochemistry. *Precambrian Research*, *287*, 1-30. https://doi.org/10.1016/j.precamres.2016.10.011

Boakye, E., Anyemedu, F. O. K., Quaye-Ballard, J. A., & Donkor, E. A. (2020). Spatio-temporal analysis of land use/cover changes in the Pra River Basin, Ghana. *Applied Geomatics*, *12*(1), 83-93. https://doi.org/10.1007/s12518-019-00278-3

Bolay, M. (2014). When miners become "foreigners" : Competing categorizations within gold mining spaces in Guinea. *Resources Policy*, *40*, 117-127. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2014.02.001

Bolay, M. (2016a). Artisanal Gold Miners Encountering Large-Scale Mining in Guinea : Expulsion, Tolerance and Interference. In T. Niederberger, T. Haller, H. Gambon, M. Kobi, & I. Wenk (Éds.), *The Open Cut Mining, Transnational Corporations and Local Populations* (p. 187-204). Lit.

Bolay, M. (2016b). *«Il faut être là où l'or sort !» De l'itinérance temporaire au maintien d'un mode de vie mobile chez les orpailleurs de Haute Guinée.* 25.

Bolay, M. (2021). Disentangling Mining and Migratory Routes in West Africa : Decisions to Move in Migranticised Settings. *Social Inclusion*, *9*(1), Article 1.

Bose-O'Reilly, S., Bernaudat, L., Siebert, U., Roider, G., Nowak, D., & Drasch, G. (2017). Signs and symptoms of mercury-exposed gold miners. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, *30*(2), Article 2. https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.00715

Brandt, P., Ernst, A., Gralla, F., Luederitz, C., Lang, D. J., Newig, J., Reinert, F., Abson, D. J., & von Wehrden, H. (2013). A review of transdisciplinary research in sustainability science. *Ecological Economics*, *92*, 1-15. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.04.008

Bretzler, A., Lalanne, F., Nikiema, J., Podgorski, J., Pfenninger, N., Berg, M., & Schirmer, M. (2017). Groundwater arsenic contamination in Burkina Faso, West Africa : Predicting and verifying regions at risk. *Science of the Total Environment*, *584*, 958-970.

Brugger, F., & Zanetti, J. (2020). "In my village, everyone uses the tractor" : Gold mining, agriculture and social transformation in rural Burkina Faso. *The Extractive Industries and Society*, *7*(3), Article 3. https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.06.003

Burini, F. (2006). Participatory Mapping And Environmental Cooperation In Africa : The Case Of The Village Of Bossia (Niger). *Bollettino della Società Geografica Italiana*, 977-996.

Caballero Espejo, J., Messinger, M., Román-Dañobeytia, F., Ascorra, C., Fernandez, L. E., & Silman, M. (2018). Deforestation and forest degradation due to gold mining in the Peruvian Amazon : A 34-year perspective. *Remote Sensing*, *10*(12), Article 12.

Campbell, B., & Laforce, M. (2010). La réforme des cadres réglementaires dans le secteur minier : Les expériences canadienne et africaine mises en perspective. *Recherches amérindiennes au Québec*, *40*(3), 69-84.

Canavesio, R. (2014). Formal mining investments and artisanal mining in southern Madagascar : Effects of spontaneous reactions and adjustment policies on poverty alleviation. *Land Use Policy*, *36*, 145-154. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.08.001

Carnegie, J., Katsiaouni, O., & Labonne, B. (2000). Project RAF/99/023—poverty eradication and sustainable livelihoods : Focusing on artisanal mining communities. *Prepared for the United Nations Development Program and the Government of Ghana. United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNDESA), New York*.

Cartier, L. E., & Bürge, M. (2011). Agriculture and artisanal gold mining in sierra leone : Alternatives or complements?: agriculture and gold mining in sierra leone. *Journal of International Development*, *23*(8), Article 8. https://doi.org/10.1002/jid.1833

Cerceau, J., Maman-Illatou, O. E. F., Daré, W., Abrami, G., Bouillet, P., & Vinches, M. (2024). Liptakor, a participatory approach for increasing risk awareness and facilitating operational changes at artisanal gold mines. *The Extractive Industries and Society*, *17*, 101385. https://doi.org/10.1016/j.exis.2023.101385

Chambers, R. (2006). Participatory Mapping and Geographic Information Systems : Whose Map? Who is Empowered and Who Disempowered? Who Gains and Who Loses? *The electronic journal of information systems in developing countries*, *25*(1), 1-11. https://doi.org/10.1002/j.1681-4835.2006.tb00163.x

Champy, M., & Dessertine, A. (2024). « C'est la chaîne alimentaire, chacun prend pour lui. » Économie quotidienne de l'extraction aurifère de petite échelle dans un village de Côte d'Ivoire: *Afrique contemporaine*, *N° 277*(1), 79-101. https://doi.org/10.3917/afco1.277.0079

Chari, F., Novukela, C., & Ngcamu, B. S. (2021). Artisanal mining versus sustainability of agricultural food supply chains : Effects of the conflicts in Southern Zimbabwe. *Development in Practice*, 1-12. https://doi.org/10.1080/09614524.2021.1937543

Charles, E., Thomas, D. S., Dewey, D., Davey, M., Ngallaba, S. E., & Konje, E. (2013). A cross-sectional survey on knowledge and perceptions of health risks associated with arsenic and mercury contamination from artisanal gold mining in Tanzania. *BMC Public Health*, *13*(1), 74. https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-74

Chevrillon-Guibert, R. (2016). Le Boom de l'or au Soudan. Enjeux et perspectives pour les acteurs nationaux. *International Development Policy | Revue internationale de politique de développement*, *7.1*, Article 7.1. https://doi.org/10.4000/poldev.2231

Chevrillon-Guibert, R., Gagnol, L., & Magrin, G. (2019). Les ruées vers l'or au Sahara et au nord du Sahel. Ferment de crise ou stabilisateur ? *Herodote*, *N° 172*(1), Article 1.

Chevrillon-Guibert, R., & Magrin, G. (2018). Ruées vers l'or au Soudan, au Tchad et au Sahel : Logiques étatiques, mobilités et contrôle territorial. *Bulletin de l'association de géographes français. Géographies*, *95*(95-2), Article 95-2. https://doi.org/10.4000/bagf.3272

Chevrillon-Guibert, R., & Magrin, G. (2023). *Le cadastre minier dans le secteur de la mine artisanale : Instrument de pouvoir et de captation de l'État en Côte d'Ivoire*.

Chibuike, G. U., & Obiora, S. C. (2014). Heavy Metal Polluted Soils : Effect on Plants and Bioremediation Methods. *Applied and Environmental Soil Science*, *2014*, 1-12. https://doi.org/10.1155/2014/752708

Clausen, F., Barreto, M. L., & Attaran, A. (2011). Théorie des droits de propriété et réforme de l'exploitation minière artisanale et à petite échelle en Pays en développement. *Journal of Politics and Law*, *4*, 15.

Cobbina, S. J., Duwiejuah, A. B., Quansah, R., Obiri, S., & Bakobie, N. (2015). Comparative Assessment of Heavy Metals in Drinking Water Sources in Two Small-Scale Mining Communities in Northern Ghana. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *12*(9), Article 9. https://doi.org/10.3390/ijerph120910620

Comité de pilotage ITIE, (2024), Situation des permis en Guinée 2024, ITIE Guinée, Conakry.

Condé, C. F. (2017). *Histoire de Siguiri : De l'implémentation coloniale à l'indépendance (1888-1958)*. L'Harmattan.

Conseil international des Mines et Métaux. (2014). *The role of mining in national economies*.

Conteh, F., & Maconachie, R. (2021). Artisanal mining, mechanization and human (in) security in Sierra Leone. *The Extractive Industries and Society*, 100983. https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.100983

Corbett, J. (2009). *Good practices in participatory mapping : A review prepared for the International Fund for Agricultural Development (IFAD)*. https://agris.fao.org/search/en/providers/122412/records/6473698308fd68d546062928

Cordy, P., Veiga, M. M., Salih, I., Al-Saadi, S., Console, S., Garcia, O., Mesa, L. A., Velásquez-López, P. C., & Roeser, M. (2011). Mercury contamination from artisanal gold mining in Antioquia, Colombia : The world's highest per capita mercury pollution. *Science of The Total Environment*, *410-411*, 154-160. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.09.006

Cortés-McPherson, D. (2019). Expansion of small-scale gold mining in Madre de Dios : 'Capital interests' and the emergence of a new elite of entrepreneurs in the Peruvian Amazon. *The Extractive Industries and Society*, *6*(2), 382-389. https://doi.org/10.1016/j.exis.2019.01.002

Cossa, H., Dietler, D., Macete, E., Munguambe, K., Winkler, M. S., & Fink, G. (2022). Assessing the effects of mining projects on child health in sub-Saharan Africa : A multi-country analysis. *Globalization and Health*, *18*(1), Article 1. https://doi.org/10.1186/s12992-022-00797-6

Cossa, H., Scheidegger, R., Leuenberger, A., Ammann, P., Munguambe, K., Utzinger, J., Macete, E., & Winkler, M. S. (2021). Health Studies in the Context of Artisanal and Small-Scale Mining : A Scoping Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(4), Article 4. https://doi.org/10.3390/ijerph18041555

Coulıbaly, S. L., Zahui, F. M., Mangoua-Allali, L. C., Cherif, A., & Coulibaly, L. (2021). Artisanal Mining Practice and Physical Impacts on the Environment in the Ity-Floleu Gold Region, Côte d'Ivoire. *International Journal of Environment and Climate Change*, 17-31. https://doi.org/10.9734/ijecc/2021/v11i1130513

Cracknell, A. P. (2018). The development of remote sensing in the last 40 years. *International Journal of Remote Sensing*, *39*(23), 8387-8427. https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1550919

Cros, M., & Mégret, Q. (2018). L'or, le sang, la pluie et les génies : Chroniques ethnographiques d'un conflit entre orpailleurs et autochtones lobi du Sud-Ouest burkinabè. *Afrique contemporaine*, *N°267-268*(3), Article 3. https://doi.org/10.3917/afco.267.0113

Cuya, A., Glikman, J. A., Groenendijk, J., Macdonald, D. W., Swaisgood, R. R., & Barocas, A. (2021). Socio-environmental perceptions and barriers to conservation engagement among artisanal small-scale gold mining communities in Southeastern Peru. *Global Ecology and Conservation*, *31*, e01816. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01816

Dan-Badjo, A. T., Tidjani, D. A., Idder, T., Guero, Y., Lamso, N. D., Matsallabi, A., Ambouta, J. M. K., Feidt, C., Sterckeman, T., & 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), Article 6.

D'avignon, R. (2018). Primitive techniques : From 'customary' to 'artisanal' mining in French West Africa. *The Journal of African History*, *59*(2), 179-197. https://doi.org/10.1017/S0021853718000361

Davis, D. S., Buffa, D., Rasolondrainy, T., Creswell, E., Anyanwu, C., Ibirogba, A., Randolph, C., Ouarghidi, A., Phelps, L. N., Lahiniriko, F., Chrisostome, Z. M., Manahira, G., & Douglass, K. (2021). The aerial panopticon and the ethics of archaeological remote sensing in sacred cultural spaces. *Archaeological Prospection*, *28*(3), 305-320. https://doi.org/10.1002/arp.1819

De Luca, G., M. N. Silva, J., Di Fazio, S., & Modica, G. (2022). Integrated use of Sentinel-1 and Sentinel-2 data and open-source machine learning algorithms for land cover mapping in a Mediterranean region. *European Journal of Remote Sensing*, *55*(1), Article 1. https://doi.org/10.1080/22797254.2021.2018667

Delaunay, D., & Guengant, J.-P. (2019). *Le dividende démographique en Afrique subsaharienne*. https://hal.science/hal-02084425/document

Dessertine, A. (2016). From pickaxes to metal detectors : Gold mining mobility and space in Upper Guinea, Guinea Conakry. *The Extractive Industries and Society*, *3*(2), Article 2. https://doi.org/10.1016/j.exis.2016.02.010

Dessertine, A. (2017). Du centre aux limites La question de la fondation et de l'autorité en Haute-Guinée (Guinée). In P. Gervais-Lambony, F. Hurlet, & I. Rivoal (Éds.), *(Re)fonder : Les modalités du (re)commencement dans le temps et dans l'espace*. Éditions de Boccard.

Dessertine, A. (2019). Une justice foncièrement autre ? : Pouvoir et foncier en contexte minier aurifère (Guinée). *Revue internationale des études du développement*, *N°238*(2), Article 2. https://doi.org/10.3917/ried.238.0141

Dessertine, A. (2021). Spatializing Social Change : Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Upper Guinea. In Y. Berriane, A. Derks, A. Kreil, & D. Lüddeckens (Éds.), *Methodological Approaches to Societies in Transformation* (p. 213-235). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65067-4_9

Dessertine, A., Chevrillon-Guibert, R., Gagnol, L., Betabelet, J., Diallo, L., Petit-Roulet, R., Sawadogo, E., Zongo, T., & Magrin, G. (2022). Orpaillage et développement des territoires en Afrique : Une équation difficile? *Développement, changements globaux et dynamiques des territoires: théories, approches et perspectives de recherche*, p-163.

Dessertine, A., & Noûs, C. (2021). Hybrid territorialisation : A reconfiguration of rural spaces through gold mining in Upper Guinea. *Political Geography*, *86*, 102348. https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2021.102348

Dessertine, A., Petit-Roulet, R., Champy, M., & Doumbouya, I. K. (2023). The governance of ASGM in Guinea and Côte d'Ivoire:(Im) mobility, territory, and technological change. In *Mining, Mobility, and Social Change in the Global South* (p. 123-142). Routledge. https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781003313236-9/

Devisse, J. (1990). Commerce et routes du trafic en Afrique occidentale. In M. El Fasi & I. Hrbek, *Histoire générale de l'Afrique, III : l'Afrique du VIIe au XIe siècle* (p. 397-463). UNESCO.

DeWitt, J. D., Chirico, P. G., Bergstresser, S. E., & Warner, T. A. (2017). Multi-scale 46-year remote sensing change detection of diamond mining and land cover in a conflict and post-conflict setting. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *8*, 126-139. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.08.002

DeWitt, J. D., Chirico, P. G., O'Pry, K. E., & Bergstresser, S. E. (2020). Mapping the extent and methods of small-scale emerald mining in the Panjshir Valley, Afghanistan. *Geocarto International*, *0*(0), Article 0. https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1716394

Diallo, P. (2017). Social insecurity, stability and the politics in West Africa : A case study of artisanal and small-scale diamond mining in Guinea, 1958–2008. *The Extractive Industries and Society*, *4*(3), Article 3. https://doi.org/10.1016/j.exis.2017.04.003

Diniz, F. H., Kok, K., Hoogstra-Klein, M. A., & Arts, B. (2015). Mapping future changes in livelihood security and environmental sustainability based on perceptions of small farmers in the Brazilian Amazon. *Ecology and Society*, *20*(2). https://www.jstor.org/stable/26270193

Diringer, S. E., Berky, A. J., Marani, M., Ortiz, E. J., Karatum, O., Plata, D. L., Pan, W. K., & Hsu-Kim, H. (2020). Deforestation Due to Artisanal and Small-Scale Gold Mining Exacerbates Soil and Mercury Mobilization in Madre de Dios, Peru. *Environmental Science & Technology*, *54*(1), Article 1. https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06620

Diringer, S. E., Feingold, B. J., Ortiz, E. J., Gallis, J. A., Araújo-Flores, J. M., Berky, A., Pan, W. K. Y., & Hsu-Kim, H. (2015). River transport of mercury from artisanal and small-scale gold mining and risks for dietary mercury exposure in Madre de Dios, Peru. *Environmental Science. Processes & Impacts*, *17*(2), Article 2. https://doi.org/10.1039/c4em00567h

Dominguez Guzmán, C., Zwarteveen, M., & Kuper, M. (2023). *Transformation as practice : Learning from everyday dealings with groundwater*. https://www.water-alternatives.org/index.php/alldoc/articles/vol16/v16issue1/697-a16-1-14/file

Dossou Etui, I. M., Stylo, M., Davis, K., Evers, D. C., Slaveykova, V. I., Wood, C., & Burton, M. E. H. (2024). Artisanal and small-scale gold mining and biodiversity : A global literature review. *Ecotoxicology*, *33*(4), 484-504. https://doi.org/10.1007/s10646-024-02748-w

Doumbouya, I. K., Dessertine, A., Vinches, M., & Cerceau, J. (2024). Mechanization of artisanal and small-scale gold mining in Guinea : Socio-technical trajectory of a rural mining site in Upper Guinea. *Journal of Rural Studies*, *112*, 103445. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2024.103445

Drace, K., Kiefer, A. M., Veiga, M. M., Williams, M. K., Ascari, B., Knapper, K. A., Logan, K. M., Breslin, V. M., Skidmore, A., Bolt, D. A., Geist, G., Reidy, L., & Cizdziel, J. V. (2012). Mercury-free, small-scale artisanal gold mining in Mozambique : Utilization of magnets to isolate gold at clean tech mine. *Journal of Cleaner Production*, *32*, 88-95. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.022

Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P., Meygret, A., Spoto, F., Sy, O., Marchese, F., & Bargellini, P. (2012). Sentinel-2 : ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, *120*, 25-36. https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026

Dube, D. K., Dereso, C. W., & Muthuraman, M. (2021). *A review of status and challenges of child labour in artisanal and small-scale mining in sub saharan africa : A look through ethiopian context* (02). *02*(02), Article 02.

Duff, P. M., & Downs, T. J. (2019). Récits de première ligne sur les défis/opportunités du développement durable dans la région minière aurifère « illégale » de *Madre de Dios* , au Pérou : Éclairer une réponse

collaborative intégrative. *The Extractive Industries and Society*, *6*(2), 552-561. https://doi.org/10.1016/j.exis.2019.01.005

Eduful, M., Alsharif, K., Eduful, A., Acheampong, M., Eduful, J., & Mazumder, L. (2020). The Illegal Artisanal and Small-scale mining (Galamsey) 'Menace' in Ghana : Is Military-Style Approach the Answer? *Resources Policy*, *68*, 101732. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101732

Egal, E., Thiéblemont, D., Lahondère, D., Guerrot, C., Costea, C. A., Iliescu, D., Delor, C., Goujou, J.-C., Lafon, J. M., Tegyey, M., Diaby, S., & Kolié, P. (2002). Late Eburnean granitization and tectonics along the western and northwestern margin of the Archean Kénéma–Man domain (Guinea, West African Craton). *Precambrian Research*, *117*(1-2), 57-84. https://doi.org/10.1016/S0301-9268(02)00060-8

Eggerickx, T., Capron, C., Hermia, J.-P., Oris, M., Poulain, M., & Van Der Straten, E. (2001). Démographie, aménagement du territoire et développement durable de la société belge. *Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles, Leviers d'une politique de développement durable, Interactions entre population, environnement et développement, SSTC: Bruxelles*.

Emmel, N. (2008). Participatory Mapping : An innovative sociological method. *Participatory Mapping*.

Esdaile, L. J., & Chalker, J. M. (2018). The Mercury Problem in Artisanal and Small-Scale Gold Mining. *Chemistry (Weinheim an Der Bergstrasse, Germany)*, *24*(27), Article 27. https://doi.org/10.1002/chem.201704840

Ferring, D., Hausermann, H., & Effah, E. (2016). Site specific : Heterogeneity of small-scale gold mining in Ghana. *The Extractive Industries and Society*, *3*(1), 171-184. https://doi.org/10.1016/j.exis.2015.11.014

Fisher, E. (2007). Occupying the Margins : Labour Integration and Social Exclusion in Artisanal Mining in Tanzania. *Development and Change*, *38*(4), 735-760. https://doi.org/10.1111/j.1467-7660.2007.00431.x

Fisher, E., de Theije, M., Araujo, C. H. X., Calvimontes, J., van de Camp, E., D'Angelo, L., Lanzano, C., Luning, S., Massaro, L., Mello, J., Ouédraogo, A., Pijpers, R. J., de Moraes, R. R., Sawadogo, C., Tuhumwire, M., & Twongyirwe, R. (2023). The lifeways of small-scale gold miners : Addressing sustainability transformations. *Global Environmental Change*, *82*, 102724. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102724

Fisher, E., Luning, S., D'Angelo, L., Araujo, C. H., Arnaldi de Balme, L., Calvimontes, J., van de Camp, E., da Costa Ferreira, L., Lanzano, C., Massaro, L., Ouédraogo, A., Mello, J. P., Pijpers, R. J., Obodai Provençal, N., Resende de Moraes, R., Sawadogo, C., de Theije, M., de Tomi, G., Tuhumwire, M., & Twongyirwe, R. (2021). Transforming matters : Sustaining gold lifeways in artisanal and small-scale mining. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *49*, 190-200. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.06.010

Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, *80*(1), 185-201. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4

Forkuor, G., Ullmann, T., & Griesbeck, M. (2020). Mapping and Monitoring Small-Scale Mining Activities in Ghana using Sentinel-1 Time Series (2015–2019). *Remote Sensing*, *12*(6), Article 6. https://doi.org/10.3390/rs12060911

Frækaland Vangsnes, G. (2018). The meanings of mining : A perspective on the regulation of artisanal and small-scale gold mining in southern Ecuador. *The Extractive Industries and Society*, *5*(2), 317-326. https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.01.003

Friendship, K. A., & Furgal, C. M. (2012). The role of Indigenous knowledge in environmental health risk management in Yukon, Canada. *International Journal of Circumpolar Health*, *71*(1), 19003. https://doi.org/10.3402/ijch.v71i0.19003

Gagnol, L., Magrin, G., & Chevrillon-Guibert, R. (2020). Chami, ville nouvelle et ville de l'or.Une trajectoire urbaine insolite en Mauritanie. *L'Espace Politique*, *38*, Article 38. https://doi.org/10.4000/espacepolitique.6562

Gaillard, J.-C., & Maceda, E. A. (2009). Participatory three-dimensional mapping for disaster risk reduction. *Participatory learning and action*, *60*(1), 109-118.

Gallwey, J., Robiati, C., Coggan, J., Vogt, D., & Eyre, M. (2020). A Sentinel-2 based multispectral convolutional neural network for detecting artisanal small-scale mining in Ghana : Applying deep learning to shallow mining. *Remote Sensing of Environment*, *248*, 111970. https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111970

Gamu, J., Le Billon, P., & Spiegel, S. (2015). Extractive industries and poverty : A review of recent findings and linkage mechanisms. *The Extractive Industries and Society*, *2*(1), 162-176. https://doi.org/10.1016/j.exis.2014.11.001

Geels, F., & Kemp, R. (2007). Dynamics in Socio-Technical Systems : Typology of Change Processes and Contrasting Case Studies. *Technology in Society*, *29*, 441-455. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2007.08.009

Geels, F. W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems : Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy*, *33*(6), 897-920. https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.01.015

Geels, F. W. (2005). The dynamics of transitions in socio-technical systems : A multi-level analysis of the transition pathway from horse-drawn carriages to automobiles (1860–1930). *Technology analysis & strategic management*, *17*(4), 445-476.

Geels, F. W. (2006). Major system change through stepwise reconfiguration : A multi-level analysis of the transformation of American factory production (1850–1930). *Technology in Society*, *28*(4), 445-476. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2006.09.006

Geels, F. W., Kern, F., Fuchs, G., Hinderer, N., Kungl, G., Mylan, J., Neukirch, M., & Wassermann, S. (2016). The enactment of socio-technical transition pathways : A reformulated typology and a comparative multi-level analysis of the German and UK low-carbon electricity transitions (1990–2014). *Research policy*, *45*(4), 896-913.

Geels, F. W., & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*, *36*(3), 399-417. https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003

Geenen, S. (2012). A dangerous bet : The challenges of formalizing artisanal mining in the Democratic Republic of Congo. *Resources Policy*, *37*(3), 322-330. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2012.02.004

Geenen, S. (2014). *'Qui Cherche, Trouve'The political economy of access to gold mining and trade in South Kivu, DRC* [PhD Thesis]. Universiteit Antwerpen (Belgium).

Gerardeaux, E., & Kourouma, M. (1998). *La culture cotonnière en Haute-Guinée*. *17*.

Gerson, J. R., Szponar, N., Zambrano, A. A., Bergquist, B., Broadbent, E., Driscoll, C. T., Erkenswick, G., Evers, D. C., Fernandez, L. E., Hsu-Kim, H., Inga, G., Lansdale, K. N., Marchese, M. J., Martinez, A., Moore, C., Pan, W. K., Purizaca, R. P., Sánchez, V., Silman, M., … Bernhardt, E. S. (2022). Amazon forests capture high levels of atmospheric mercury pollution from artisanal gold mining. *Nature Communications*, *13*(1), Article 1. https://doi.org/10.1038/s41467-022-27997-3

Girard, V., Molina-Millán, T., & Vic, G. (2022). *Artisanal mining in Africa* [NOVAFRICA Working Paper Series]. Universidade Nova de Lisboa, Nova School of Business and Economics, NOVAFRICA. https://econpapers.repec.org/paper/unlnovafr/wp2201.htm

Giuliani, G., Planque, M., Benvenuti, A., Piller, T., Moomen, A.-W., & Lacroix, P. (2022). *Remote Sensing in support of Artisanal and Small-Scale Gold Mining policy development, implementation and evaluation*. https://access.archive-ouverte.unige.ch/access/metadata/c8508c7b-26a5-478a-a7b6-5b85cbd1d612/download

Goix, S., Maurice, L., Laffont, L., Rinaldo, R., Lagane, C., Chmeleff, J., Menges, J., Heimbürger, L.-E., Maury-Brachet, R., & Sonke, J. E. (2019). Quantifying the impacts of artisanal gold mining on a tropical river system using mercury isotopes. *Chemosphere*, *219*, 684-694. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.036

Goloubinow, R. (1936). L'or en Guinée Française. *Extrait du Congrès International des Mines, de la Métallurgie et de la Géologie Appliquée, VIIe session, Paris, 20–26 octobre 1935*, *2*.

Gond, V., Petit, M., & collab. (2004). *Potentiel de la télédétection pour la surveillance de l'orpaillage : Rapport final convention de consultance institutionnelle IRD-Conseil Régional*. 22.

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine : Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, *202*, 18-27. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031

Gorman, M. R., & Dzombak, D. A. (2018). A review of sustainable mining and resource management : Transitioning from the life cycle of the mine to the life cycle of the mineral. *Resources, Conservation and Recycling*, *137*, 281-291. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.06.001

Gouvernement. (2012). *Vision 2040 pour une Guinée émergente et prospère* (1; p. 78). République de Guinée (Ministère du Plan et de la Coopération Internationale).

Grätz, T. (2003). Grätz, Tilo 2003. Les chercheurs d'or et la construction d'identités de migrants en Afrique de l'Ouest. Politique Africaine 91 (2003/3) : 155 - 169. *Politique africaine (Paris, France: 1981)*, *91*, 155-169. https://doi.org/10.3917/polaf.091.0155

Grätz, T. (2004). Les frontières de l'orpaillage en Afrique occidentale: *Autrepart*, *n° 30*(2), 135-150. https://doi.org/10.3917/autr.030.0135

Grätz, T. (2007). Vigilante groups and the state in West Africa. *Order and disorder: anthropological perspectives*, 74-89.

Guyot, S. (2008). *Une méthodologie de terrain 'avec de vrais bricolages et plein de petits arrangements'...* À travers l'espace de la méthode : les dimensions du terrain en géographie. https://shs.hal.science/halshs-00422362

Hassan, Z., Shabbir, R., Ahmad, S. S., Malik, A. H., Aziz, N., Butt, A., & Erum, S. (2016). Dynamics of land use and land cover change (LULCC) using geospatial techniques : A case study of Islamabad Pakistan. *SpringerPlus*, *5*(1), 812. https://doi.org/10.1186/s40064-016-2414-z

Heemskerk, M. (2005). Collecting Data in Artisanal and Small-Scale Mining Communities : Measuring Progress towards More Sustainable Livelihoods. *Natural Resources Forum*, *29*, 82-87. https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2005.00114.x

Hibou, B. (1998). Retrait ou redéploiement de l'État ? *Critique Internationale*, *1*, 151. https://doi.org/10.3406/criti.1998.1363

Hilson, G. (2002a). Small-scale mining and its socio-economic impact in developing countries. *Natural Resources Forum*, *26*(1), 3-13. https://doi.org/10.1111/1477-8947.00002

Hilson, G. (2002b). The environmental impact of small-scale gold mining in Ghana : Identifying problems and possible solutions. *The Geographical Journal*, *168*(1), Article 1. https://doi.org/10.1111/1475-4959.00038

Hilson, G. (2005). Strengthening artisanal mining research and policy through baseline census activities. *Natural Resources Forum*, *29*(2), 144-153. https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2005.00123.x

Hilson, G. (2009a). Small-scale mining, poverty and economic development in sub-Saharan Africa : An overview. *Resources Policy*, *34*(1), Article 1. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2008.12.001

Hilson, G. (2009b). Small-scale mining, poverty and economic development in sub-Saharan Africa : An overview. *Resources Policy*, *34*(1), 1-5. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2008.12.001

Hilson, G. (2011). « A conflict of interest »? A critical examination of artisanal/large-scale miner relations in sub-Saharan Africa. In *Natural Resource Investment And Africa's Development* (p. 134-158). Edward Elgar Publishing. http://centaur.reading.ac.uk/26536/

Hilson, G. (2016). Farming, small-scale mining and rural livelihoods in Sub-Saharan Africa : A critical overview. *The Extractive Industries and Society*, *3*(2), Article 2. https://doi.org/10.1016/j.exis.2016.02.003

Hilson, G. (2017). Fusillades et excavatrices en feu : Quelques réflexions rapides sur la gestion par le gouvernement du Ghana de la « menace » minière informelle *de Galamsey*. *Resources Policy*, *54*, 109-116. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.09.009

Hilson, G., Amankwah, R., & Ofori-Sarpong, G. (2013). Going for gold : Transitional livelihoods in Northern Ghana. *The Journal of Modern African Studies*, *51*(1), 109-137. https://doi.org/10.1017/S0022278X12000560

Hilson, G., & Garforth, C. (2013). 'Everyone Now is Concentrating on the Mining' : Drivers and Implications of Rural Economic Transition in the Eastern Region of Ghana. *Journal of Development Studies*, *49*(3), Article 3. https://doi.org/10.1080/00220388.2012.713469

Hilson, G., Hilson, A., & Maconachie, R. (2018). Opportunity or necessity? Conceptualizing entrepreneurship at African small-scale mines. *Technological Forecasting and Social Change*, *131*, 286-302. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.12.008

Hilson, G., Hilson, A., Maconachie, R., McQuilken, J., & Goumandakoye, H. (2017). Artisanal and small-scale mining (ASM) in sub-Saharan Africa : Re-conceptualizing formalization and 'illegal' activity. *Geoforum*, *83*, 80-90. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.05.004

Hilson, G., & Hu, Y. (2022). Changing priorities, shifting narratives : Remapping rural livelihoods in Africa's artisanal and small-scale mining sector. *Journal of Rural Studies*, *92*, 93-108. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.03.010

Hilson, G., & Maconachie, R. (2020a). Entrepreneurship and innovation in Africa's artisanal and small-scale mining sector : Developments and trajectories. *Journal of Rural Studies*, *78*, 149-162. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.06.004

Hilson, G., & Maconachie, R. (2020b). For the Environment : An Assessment of Recent Military Intervention in Informal Gold Mining Communities in Ghana. *Land Use Policy*, *96*, 104706. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104706

Hilson, G., & McQuilken, J. (2014). Four decades of support for artisanal and small-scale mining in sub-Saharan Africa : A critical review. *The Extractive Industries and Society*, *1*(1), 104-118.

Hilson, G., & Pardie, S. (2006). Mercury : An agent of poverty in Ghana's small-scale gold-mining sector? *Resources Policy*, *31*(2), 106-116. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2006.09.001

Hilson, G., & Potter, C. (2003). Why Is Illegal Gold Mining Activity so Ubiquitous in Rural Ghana? *African Development Review*, *15*(2-3), 237-270. https://doi.org/10.1111/j.1467-8268.2003.00073.x

Hilson, G., & Potter, C. (2005). Structural Adjustment and Subsistence Industry : Artisanal Gold Mining in Ghana. *Development and Change*, *36*(1), 103-131. https://doi.org/10.1111/j.0012-155X.2005.00404.x

Huff, A., & Naess, L. O. (2022). *Reframing climate and environmental justice*. https://opendocs.ids.ac.uk/articles/journal_contribution/Reframing_Climate_and_Environmental_Justice/26430223

Huggins, C. (2016). Artisanal and small-scale mining : Critical approaches to property rights and governance. *Third World Thematics: A TWQ Journal*, *1*(2), 151-164. https://doi.org/10.1080/23802014.2016.1233043

Huntington, H., & Marple-Cantrell, K. (2021). Customary governance of artisanal and small-scale mining in Guinea : Social and environmental practices and outcomes⋆. *Land Use Policy*, *102*, 105229. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105229

Huntington, H., & Marple-Cantrell, K. (2022). The importance of artisanal and small-scale mining for rural economies : Livelihood diversification, dependence, and heterogeneity in rural Guinea. *Journal of Rural Studies*, *94*, 177-191. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.06.004

Illatou, O. E. F. M. (2021). *Impacts de l'orpaillage et de l'agriculture sur la qualité des eaux du Liptako nigérien : Identification des hots spots des pollutions métalliques et organiques, transferts de connaissances entre recherche et terrain* [PhD Thesis, IMT-MINES ALES-IMT-Mines Alès Ecole Mines-Télécom; Université Abdou Moumouni]. https://theses.hal.science/tel-03624770/

Imbert, G. (2010). L'entretien semi-directif : À la frontière de la santé publique et de l'anthropologie. *Recherche en soins infirmiers*, *102*(3), 23-34. https://doi.org/10.3917/rsi.102.0023

Isidro, C. M., McIntyre, N., Lechner, A. M., & Callow, I. (2017). Applicability of Earth Observation for Identifying Small-Scale Mining Footprints in a Wet Tropical Region. *Remote Sensing*, *9*(9), Article 9. https://doi.org/10.3390/rs9090945

ITIE, (2022), Rapport ITIE 2018 Guinée, ITIE Guinée, Conakry, 349 p.

ITIE, (2022), Rapport ITIE 2022 Guinée, ITIE Guinée, Conakry, 434 p.

Jahn, T., Bergmann, M., & Keil, F. (2012). Transdisciplinarity : Between mainstreaming and marginalization. *Ecological Economics*, *79*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.04.017

Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, *7*(2), 60-72. https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009

Janse van Rensburg, G., & Kemp, J. (2022). The Use of C-Band and X-Band SAR with Machine Learning for Detecting Small-Scale Mining. *Remote Sensing*, *14*(4), Article 4. https://doi.org/10.3390/rs14040977

Jennings, N. (avec International Labour Organisation). (1999). *Social and labour issues in small-scale mines : Report for discussion at the Tripartite Meeting on Social and Labour Issues in Small-scale Mines, Geneva, 1999*. Tripartite Meeting on Social and Labour Issues in Small-scale Mines, Geneva. International Labour Office.

Jessell, M. W., & Liégeois, J.-P. (2015). 100 years of research on the West African Craton. *Journal of African Earth Sciences*, *112*, 377-381. https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.10.008

Jønsson, J. B., & Fold, N. (2011). Mining 'From Below' : Taking Africa's Artisanal Miners Seriously. *Geography Compass*, *5*(7), 479-493. https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2011.00435.x

Jønsson, J., & Bryceson, D. (2017). Beyond the artisanal mining site : Migration, housing capital accumulation and indirect urbanization in East Africa. *Journal of Eastern African Studies*, *11*, 3-23. https://doi.org/10.1080/17531055.2017.1287245

Joshi, N., Baumann, M., Ehammer, A., Fensholt, R., Grogan, K., Hostert, P., Jepsen, M. R., Kuemmerle, T., Meyfroidt, P., Mitchard, E. T. A., Reiche, J., Ryan, C. M., & Waske, B. (2016). A Review of the Application of Optical and Radar Remote Sensing Data Fusion to Land Use Mapping and Monitoring. *Remote Sensing*, *8*(1), Article 1. https://doi.org/10.3390/rs8010070

Kabunga, D., & Geenen, S. (2022). Work regimes and technology-driven transformations in DRCongo's artisanal and small-scale gold mines. *Extractive Industries And Society*, *12*, 101142. https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101142

Kajikawa, Y. (2008). Research core and framework of sustainability science. *Sustainability Science*, *3*(2), 215-239. https://doi.org/10.1007/s11625-008-0053-1

Kamlongera, P. J. (2011). Making the Poor 'Poorer' or Alleviating Poverty? Artisanal Mining Livelihoods in Rural Malawi. *Journal of International Development*, *23*(8), 1128-1139. https://doi.org/10.1002/jid.1836

Kankeu, R. S., & Tiani, A. M. (2014). *Guide de cartographie participative géoréférencée pour la gestion communautaire du terroir* (Vol. 158). CIFOR.

Keita, S. (2001). Etude sur les Mines Artisanales et Les Exploitations Minières à Petite Echelle au Mali. *Mining, Minerals and Sustainable Development*, *80*, Article 80.

Kessel, F., & Rosenfield, P. L. (2008). Toward Transdisciplinary Research : Historical and Contemporary Perspectives. *American Journal of Preventive Medicine*, *35*(2, Supplement), S225-S234. https://doi.org/10.1016/j.amepre.2008.05.005

Khatami, R., Mountrakis, G., & Stehman, S. V. (2016). A meta-analysis of remote sensing research on supervised pixel-based land-cover image classification processes : General guidelines for practitioners and future research. *Remote Sensing of Environment*, *177*, 89-100. https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.028

Kinyondo, A., & Huggins, C. (2021). *Promoting environmental sustainability in the artisanal and small-scale mining sector in Tanzania* (Working Paper 2021/119). Wider Working Paper. https://doi.org/10.35188/Unu-Wider/2021/059-7

Kitula, A. G. N. (2006). The environmental and socio-economic impacts of mining on local livelihoods in Tanzania : A case study of Geita District. *Journal of Cleaner Production*, *14*(3), 405-414. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.01.012

Konaté, A. A., Konaté, S. F., Zaheer, M., Kwame, A. G., & Oularé, F. (2022). Geostatistical analysis of hydrogeological data of the Baraka gold zone, prefecture of Siguiri, Republic of Guinea. *Environmental Earth Sciences*, *81*(8), 232. https://doi.org/10.1007/s12665-022-10340-w

Kouamelan, A. N., Djro, S. C., Allialy, M. E., Paquette, J.-L., & Peucat, J.-J. (2015). The oldest rock of Ivory Coast. *Journal of African Earth Sciences*, *103*, 65-70. https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.12.004

Kueffer, C., Hadorn, G. H., Bammer, G., Van Kerkhoff, L., & Pohl, C. (2007). Towards a Publication Culture in Transdisciplinary Research. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*, *16*(1), 22-26. https://doi.org/10.14512/gaia.16.1.8

Kugler, T. A., Grace, K., Wrathall, D. J., de Sherbinin, A., Van Riper, D., Aubrecht, C., Comer, D., Adamo, S. B., Cervone, G., Engstrom, R., Hultquist, C., Gaughan, A. E., Linard, C., Moran, E., Stevens, F., Tatem, A. J., Tellman, B., & Van Den Hoek, J. (2019). People and Pixels 20 years later : The current data landscape and research trends blending population and environmental data. *Population and Environment*, *41*(2), 209-234. https://doi.org/10.1007/s11111-019-00326-5

Labonne, B. (2014). Who is afraid of artisanal and small-scale mining (ASM)? *The Extractive Industries and Society*, *1*(2), Article 2. https://doi.org/10.1016/j.exis.2014.03.002

Lahiri-Dutt, K. (Éd.). (2018). *Between the Plough and the Pick : Informal, artisanal and small-scale mining in the contemporary world*. Australian National University Press.

Lahondère, D., Thiéblemont, D., Tegyey, M., Guerrot, C., & Diabate, B. (2002). First evidence of early Birimian (2.21 Ga) volcanic activity in Upper Guinea : The volcanics and associated rocks of the Niani suite. *Journal of African Earth Sciences*, *35*(3), 417-431. https://doi.org/10.1016/S0899-5362(02)00145-8

LaJeunesse Connette, K. J., Connette, G., Bernd, A., Phyo, P., Aung, K. H., Tun, Y. L., Thein, Z. M., Horning, N., Leimgruber, P., & Songer, M. (2016). Assessment of Mining Extent and Expansion in Myanmar Based on Freely-Available Satellite Imagery. *Remote Sensing*, *8*(11), Article 11. https://doi.org/10.3390/rs8110912

Lanocha-Arendarczyk, N., Kosik-Bogacka, D. I., Kalisinska, E., Sokolowski, S., Kolodziej, L., Budis, H., Safranow, K., Kot, K., Ciosek, Z., Tomska, N., & Galant, K. (2016). Influence of Environmental Factors and Relationships between Vanadium, Chromium, and Calcium in Human Bone. *BioMed Research International*, *2016*, 1-11. https://doi.org/10.1155/2016/8340425

Lanzano, C. (2020). Guinea Conakry and Burkina Faso : Innovations at the Periphery. In B. Verbrugge & S. Geenen (Éds.), *Global Gold Production Touching Ground : Expansion, Informalization, and Technological Innovation* (p. 245-262). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38486-9_13

Lanzano, C., & Arnaldi di Balme, L. (2017). Des « puits burkinabè » en Haute Guinée : Processus et enjeux de la circulation de savoirs techniques dans le secteur minier artisanal. *Autrepart*, *82*(2), Article 2. https://doi.org/10.3917/autr.082.0087

Lanzano, C., & Arnaldi di Balme, L. (2021). Who owns the mud? Valuable leftovers, sociotechnical innovation and changing relations of production in artisanal gold mining (Burkina Faso). *Journal of Agrarian Change*, *21*(3), Article 3. https://doi.org/10.1111/joac.12412

Le Boulch, G. (2002). Vers une méthodologie transdisciplinaire. *3èmes Journées FROG*. https://shs.hal.science/halshs-00140268/document

Lebrun, E., Thébaud, N., Miller, J., Ulrich, S., Bourget, J., & Terblanche, O. (2016). Geochronology and lithostratigraphy of the Siguiri district : Implications for gold mineralisation in the Siguiri Basin (Guinea, West Africa). *Precambrian Research*, *274*, 136-160. https://doi.org/10.1016/j.precamres.2015.10.011

Lebrun, E., Thébaud, N., Miller, J., Ulrich, S., & Mccuaig, T. C. (2015). Withdrawn : The world-class orogenic gold Siguiri district, Siguiri Basin (Guinea, West Africa). *Ore Geology Reviews*, S0169136815300123. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.08.013

Lehmann, D., Brinkmann, K., Diogo, R. V. C., & Buerkert, A. (2017). Temporal and spatial changes of land use in rare metal mining areas of Rwanda. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, *31*(8), 519-529. https://doi.org/10.1080/17480930.2016.1160490

Leridon, H. (2015). Afrique subsaharienne : Une transition démographique explosive. *Futuribles*, *407*, 5-21.

Lewis, H. G., & Brown, M. (2001). A generalized confusion matrix for assessing area estimates from remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, *22*(16), 3223-3235. https://doi.org/10.1080/01431160152558332

Leyle, D., Schaller, F., Lanzano, C., Diawara, I., Bah, O., Berete, S., Coulibaly, S., & Touré, B. (2014). *L'orpaillage artisanal dans la Préfecture de Siguiri* (p. 205) [Volume 1 : étude de base]. INSUCO.

Libassi, M. (2020). Mining heterogeneity : Diverse labor arrangements in an Indonesian informal gold economy. *The Extractive Industries and Society*, *7*(3), 1036-1045. https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.06.015

Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.

Lobo, F. D. L., Costa, M., Novo, E. M. L. de M., & Telmer, K. (2016). Distribution of Artisanal and Small-Scale Gold Mining in the Tapajós River Basin (Brazilian Amazon) over the Past 40 Years and Relationship with Water Siltation. *Remote Sensing*, *8*(7), Article 7. https://doi.org/10.3390/rs8070579

Lobo, F. de L., Souza-Filho, P. W. M., Novo, E. M. L. de M., Carlos, F. M., & Barbosa, C. C. F. (2018). Mapping Mining Areas in the Brazilian Amazon Using MSI/Sentinel-2 Imagery (2017). *Remote Sensing*, *10*(8), Article 8. https://doi.org/10.3390/rs10081178

London Bullion Market Association. (2025). *Prix de l'or de 1900 à mars 2025 (en dollars américains par once troy)*. Statista. https://fr.statista.com/statistiques/1299220/evolution-prix-or/

Lovasoa, C. R., Hela, K., Harinaivo, A. A., & Hamma, Y. (2017). Bioremediation of soil and water polluted by cyanide : A review. *African Journal of Environmental Science and Technology*, *11*(6), Article 6. https://doi.org/10.5897/AJEST2016.2264

Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, *28*(5), 823-870. https://doi.org/10.1080/01431160600746456

Luning, S. (2006). *Artisanal gold mining in Burkina Faso : Permits, poverty and perceptions of the poor in Sanmatenga, the 'land of gold'* (p. 135-148). https://doi.org/10.3362/9781780445939.012

Luning, S. (2008). Liberalisation of the Gold Mining Sector in Burkina Faso. *Review of African Political Economy*, *35*(117), 387-401. https://doi.org/10.1080/03056240802411016

Luning, S., Jansen, J., & Panella, C. (2014). The Mise en Valeur of the Gold Mines in the Haut-Niger, 1918–1939. *French Colonial History*, *1*, 67-86.

Macháček, J. (2019). Typology of Environmental Impacts of Artisanal and Small-Scale Mining in African Great Lakes Region. *Sustainability*, *11*(11), Article 11. https://doi.org/10.3390/su11113027

Macháček, J. (2020). Alluvial Artisanal and Small-Scale Mining in A River Stream—Rutsiro Case Study (Rwanda). *Forests*, *11*(7), Article 7. https://doi.org/10.3390/f11070762

Maconachie, R. (2011). Re-Agrarianising Livelihoods in Post-Conflict Sierra Leone? Mineral Wealth and Rural Change in Artisanal and Small-Scale Mining Communities. *Journal of International Development*, *23*(8), 1054-1067. https://doi.org/10.1002/jid.1831

Maconachie, R., & Binns, T. (2007). 'Farming miners' or 'mining farmers'? : Diamond mining and rural development in post-conflict Sierra Leone. *Journal of Rural Studies*, *23*(3), Article 3. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2007.01.003

Maconachie, R., & Hilson, G. (2011). Artisanal Gold Mining : A New Frontier in Post-Conflict Sierra Leone? *The Journal of Development Studies*, *47*(4), 595-616. https://doi.org/10.1080/00220381003599402

Maiga, F., Touré, A. O., Diya, A., Ouattara, I., & Doumbia, S. (2022). Les effets de l'orpaillage par drague sur la biodiversité aquatique de l'affluent Baoulé dans la commune rurale de Kémékafo, région de Dioila. *Revue Africaine des Sciences Sociales et de la Santé Publique*, *4*(1), Article 1.

Mallongi, A., Limbong, E., Naiem, F., Ishak, H., Basri, S., Saleh, Muh., Syam, A., & Asrul, L. (2020). Health risk analysis of exposure to mercury (Hg) and cyanide (CN) in Kayeli village communities Teluk Kayeli district Buru regency. *Enfermería Clínica*, *30*, 427-430. https://doi.org/10.1016/j.enfcli.2020.03.007

Malpeli, K. C., & Chirico, P. G. (2013). The influence of geomorphology on the role of women at artisanal and small-scale mine sites. *Natural Resources Forum*, *37*(1), 43-54. https://doi.org/10.1111/1477-8947.12009

Mamedov, V., Bouféév, Y., & Nikitine, Y. (2010). *Géologie de la République de Guinée* (Vol. 1). Ministère des Mines et de la Géologie de la République de Guinée.

Mamedov, V. I., Bouféév, Y. V., Nikitine, Y. A., & Mamedov, A. I. (2010). *Banque des données des gisements et indices de minéraux utiles: Vol. VOLUME II* (Min. des Mines et de la Géologie Rép. de Guinée; GEOPROSPECTS Ltd ;Univ.e d'Etat de Moscou Lomonossov).

Marcadé, E., Cerceau, J., Martin, L., & Maurice, L. (2024). De la santé humaine à la santé des hydrosystèmes : Quand un jeu sérieux permet de mettre en dialogue les constructions sociales locales des santés en zones aurifères amazoniennes. *Colloque Jeux et Enjeux*. https://imt-mines-ales.hal.science/hal-04711763/document

Markwitz, V., Hein, K. A. A., & Miller, J. (2016). Compilation of West African mineral deposits : Spatial distribution and mineral endowment. *Precambrian Research*, *274*, 61-81. https://doi.org/10.1016/j.precamres.2015.05.028

Marrugo-Madrid, S., Salas-Moreno, M., Gutiérrez-Mosquera, H., Salazar-Camacho, C., Marrugo-Negrete, J., & Díez, S. (2022). Assessment of dissolved mercury by diffusive gradients in thin films devices in abandoned ponds impacted by small scale gold mining. *Environmental Research*, *208*, 112633. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112633

Maurice-Bourgoin, L., Quiroga, I., Chincheros, J., & Courau, P. (2000). Mercury distribution in waters and fishes of the upper Madeira rivers and mercury exposure in riparian Amazonian populations. *Science of The Total Environment*, *260*(1), 73-86. https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00542-8

Maxwell, A. E., Warner, T. A., & Fang, F. (2018). Implementation of machine-learning classification in remote sensing : An applied review. *International Journal of Remote Sensing*, *39*(9), Article 9. https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1433343

Mbodj, F. B. (2011). *Boom aurifère à l'est du Sénégal, l'ouest du Mali et au nord-est de la Guinée : Mutations socio-économiques et spatiales d'anciennes marges géographiques et économiques* [Thèse de doctorat en Géographie]. Université Gaston Berger de Saint-Louis du Sénégal, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.

MEEF. (2021). *Plan d'Action National pour l'Extraction Minière Artisanale et à Petite Echelle de l'or* (1; p. 74). Ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts.

Mehta, L., Srivastava, S., Movik, S., Adam, H. N., D'Souza, R., Parthasarathy, D., Naess, L. O., & Ohte, N. (2021). Transformation as praxis : Responding to climate change uncertainties in marginal environments in South Asia. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *49*, 110-117. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.04.002

Mensah, S. K., Siabi, E. K., Donkor, P., & Kuranti, N. (2022). Assessing the safety and health practices in the artisanal and small-scale gold mining sector of Ghana : A case of Ntotroso. *Environmental Challenges*, 100443. https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100443

Mhangara, P., Tsoeleng, L. T., & Mapurisa, W. (2020). Monitoring the development of artisanal mines in South Africa. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, *120*(4), Article 4. https://doi.org/10.17159/2411-9717/938/2020

Milési, J.-P., Feybesse, J.-L., Pinna, P., Deschamps, Y., Kampunzu, H., Muhonogo, S., Lescuyer, J.-L., & Toteu, S. (2004). *Géologie et principaux gisements de l'Afrique, échelle 1/10,000,000* (BRGM) [Carte géologique du continent africain]. BRGM Orleans; BRGM. www.brgm.fr

Mkodzongi, G. (2020). The rise of 'Mashurugwi' machete gangs and violent conflicts in Zimbabwe's artisanal and small-scale gold mining sector. *The Extractive Industries and Society*, *7*(4), Article 4. https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.10.001

Mkodzongi, G., & Spiegel, S. (2019). Artisanal Gold Mining and Farming : Livelihood Linkages and Labour Dynamics after Land Reforms in Zimbabwe. *The Journal of Development Studies*, *55*(10), Article 10. https://doi.org/10.1080/00220388.2018.1516867

Mkodzongi, G., & Spiegel, S. J. (2020). Mobility, temporary migration and changing livelihoods in Zimbabwe's artisanal mining sector. *The Extractive Industries and Society*, *7*(3), 994-1001. https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.05.001

MMG. (2022). *Bulletin de statistiques minières* (14; p. 12). République de Guinée (Ministère des Mines et de la Géologie).

MMG. (2024). *Bulletin de statistiques minières* (1; p. 8). République de Guinée (Ministère des Mines et de la Géologie).

Mogues, T. (2021). *Rapport du FMI n° 21/147* (21/147; p. 18). Fonds monétaire international.

Moomen, A.-W., Lacroix, P., Benvenuti, A., Planque, M., Ibrahim, E., & Giuliani, G. (2024). Assessing the strategic applications of remote sensing for addressing illicit artisanal and small-scale gold mining activities. *GeoJournal*, *89*(3), 92. https://doi.org/10.1007/s10708-024-11094-7

Moomen, A.-W., Lacroix, P., Benvenuti, A., Planque, M., Piller, T., Davis, K., Miranda, M., Ibrahim, E., & Giuliani, G. (2022). Assessing the Applications of Earth Observation Data for Monitoring Artisanal and Small-Scale Gold Mining (ASGM) in Developing Countries. *Remote Sensing*, *14*(13), Article 13. https://doi.org/10.3390/rs14132971

Morante-Carballo, F., Montalván-Burbano, N., Aguilar-Aguilar, M., & Carrión-Mero, P. (2022). A Bibliometric Analysis of the Scientific Research on Artisanal and Small-Scale Mining. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(13), Article 13. https://doi.org/10.3390/ijerph19138156

Mücke, M., Sang, B., Heider, B., Honold, H.-P., Sornig, M., & Fischer, S. (2019). EnMAP : Hyperspectral Imager (HSI) for Earth observation: current status. In N. Karafolas, Z. Sodnik, & B. Cugny (Éds.), *International Conference on Space Optics—ICSO 2018* (p. 222). SPIE. https://doi.org/10.1117/12.2536142

Nakazawa, K., Nagafuchi, O., Kawakami, T., Inoue, T., Yokota, K., Serikawa, Y., Cyio, B., & Elvince, R. (2016). Human health risk assessment of mercury vapor around artisanal small-scale gold mining area, Palu city, Central Sulawesi, Indonesia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *124*, 155-162. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.09.042

Ngom, N. M., Baratoux, D., Bolay, M., Dessertine, A., Saley, A. A., Baratoux, L., Mbaye, M., Faye, G., Yao, A. K., & Kouame, K. J. (2023). Artisanal Exploitation of Mineral Resources : Remote Sensing Observations of Environmental Consequences, Social and Ethical Aspects. *Surveys In Geophysics*, *44*(1), 225-247. https://doi.org/10.1007/s10712-022-09740-1

Ngom, N. M., Mbaye, M., Baratoux, D., Baratoux, L., Ahoussi, K. E., Kouame, J. K., Faye, G., & Sow, E. H. (2022). Recent expansion of artisanal gold mining along the Bandama River (Côte d'Ivoire). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *112*, 102873. https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102873

Ngom, N. M., Mbaye, M., Baratoux, D., Baratoux, L., Catry, T., Dessay, N., Faye, G., Sow, E. H., & Delaitre, E. (2020). Mapping Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Senegal Using Sentinel 2 Data. *GeoHealth*, *4*(12), Article 12. https://doi.org/10.1029/2020GH000310

Noetstaller, R. (1987). *Small-Scale Mining : A Review of the Issues*.

Nursamsi, I., Phinn, S. R., Levin, N., Luskin, M. S., & Sonter, L. J. (2024). Remote sensing of artisanal and small-scale mining : A review of scalable mapping approaches. *Science of The Total Environment*, 175761. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175761

Nyamekye, C., Ghansah, B., Agyapong, E., & Kwofie, S. (2021). Mapping changes in artisanal and small-scale mining (ASM) landscape using machine and deep learning algorithms. - A proxy evaluation of the 2017 ban on ASM in Ghana. *Environmental Challenges*, *3*, 100053. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100053

Obodai, J., Adjei, K. A., Odai, S. N., & Lumor, M. (2019). Land use/land cover dynamics using landsat data in a gold mining basin-the Ankobra, Ghana. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *13*, 247-256. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.10.007

OCDE. (2018). *L'or à la croisée des chemins : Étude d'évaluation des chaînes d'approvisionnement en or produit au Burkina Faso, au Mali et au Niger*. OECD. https://doi.org/10.1787/fc17936e-fr

Ofosu, G., Dittmann, A., Sarpong, D., & Botchie, D. (2020). Socio-economic and environmental implications of Artisanal and Small-scale Mining (ASM) on agriculture and livelihoods. *Environmental Science & Policy*, *106*, 210-220. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.02.005

Okoh, G., & Hilson, G. (2011). Poverty and Livelihood Diversification : Exploring the Linkages Between Smallholder Farming and Artisanal Mining in Rural Ghana. *Journal of International Development*, *23*(8), 1100-1114. https://doi.org/10.1002/jid.1834

Olivier de Sardan, J.-P. (1995). La politique du terrain : Sur la production des données en anthropologie. *Enquête*, *1*, 71-109. https://doi.org/10.4000/enquete.263

ONU, U. C. on N. R. (2nd sess : 1994 : N. (1972). *Small-scale mining activities in developing countries*. https://digitallibrary.un.org/record/168353

Osei, L., Yeboah, T., Kumi, E., & Antoh, E. F. (2021). Government's ban on Artisanal and Small-Scale Mining, youth livelihoods and imagined futures in Ghana. *Resources Policy*, *71*, 102008. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102008

Ouédraogo, A. (2020). Les détentrices de hangars de traitement de l'or face à la technique de cyanuration (sud-ouest du Burkina Faso). *Journal des africanistes*, *90-1*, Article 90-1. https://doi.org/10.4000/africanistes.9528

Ouedraogo, L. (2019). *Orpaillage artisanal et développement rural*. https://library-archives.canada.ca/eng/services/services-libraries/theses/Pages/item.aspx?idNumber=1132129582

Ouédraogo, O., & Amyot, M. (2013). Mercury, arsenic and selenium concentrations in water and fish from sub-Saharan semi-arid freshwater reservoirs (Burkina Faso). *Science of the total environment*, *444*, 243-254.

Owusu, O., Bansah, K. J., & Mensah, A. K. (2019). "Small in size, but big in impact" : Socio-environmental reforms for sustainable artisanal and small-scale mining. *Journal of Sustainable Mining*, *18*(1), Article 1. https://doi.org/10.1016/j.jsm.2019.02.001

Palsky, G. (2013). Cartographie participative, cartographie indisciplinée. *L'Information géographique*, *77*(4), 10-25. https://doi.org/10.3917/lig.774.0010

Panella, C. (2005). « Je Vais Chercher Le Prix De Condiments ». Rapports De Genre, Économie Domestique Et Symbolique De L'or Du Yemasu (vallée Du Sankarani, Mali). *Africa: Rivista trimestrale di studi e documentazione dell'Istituto italiano per l'Africa e l'Oriente*, *60*(3/4), 426-443.

Panella, C. (2007). L'éthique sociale du damansen : Éducation familiale et orpaillage artisanal dans le Basidibé (Wasolon, Mali). *Cahiers d'études africaines*, *47*(186), 345-370. https://doi.org/10.4000/etudesafricaines.7261

Parra-Avila, L. A., Kemp, A. I. S., Fiorentini, M. L., Belousova, E., Baratoux, L., Block, S., Jessell, M., Bruguier, O., Begg, G. C., Miller, J., Davis, J., & McCuaig, T. C. (2017). The geochronological evolution of the Paleoproterozoic Baoulé-Mossi domain of the Southern West African Craton. *Precambrian Research*, *300*, 1-27. https://doi.org/10.1016/j.precamres.2017.07.036

Paruchuri, Y., Siuniak, A., Johnson, N., Levin, E., Mitchell, K., Goodrich, J. M., Renne, E. P., & Basu, N. (2010). Occupational and environmental mercury exposure among small-scale gold miners in the Talensi–Nabdam District of Ghana's Upper East region. *Science of The Total Environment*, *408*(24), Article 24. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.08.022

Persaud, A. W., Telmer, K. H., Costa, M., & Moore, M.-L. (2017). Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Senegal : Livelihoods, Customary Authority, and Formalization. *Society & Natural Resources*, *30*(8), Article 8. https://doi.org/10.1080/08941920.2016.1273417

Petit-Roulet, R. (2024). Concurrences et complémentarités entre agriculture et orpaillage en Guinée. *Afrique contemporaine*, *277*(1), 237-243. https://doi.org/10.3917/afco1.277.0237

Pijpers, R. (2014). Crops and carats : Exploring the interconnectedness of mining and agriculture in Sub-Saharan Africa. *Futures*, *62*, 32-39. https://doi.org/10.1016/j.futures.2014.01.012

Pijpers, R. J. (2020). Ghana : A History of Expansion and Contraction. In B. Verbrugge & S. Geenen (Éds.), *Global Gold Production Touching Ground : Expansion, Informalization, and Technological Innovation* (p. 169-184). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38486-9_9

Putzel, L., Kelly, A. B., Cerutti, P. O., & Artati, Y. (2015). Formalization as Development in Land and Natural Resource Policy. *Society & Natural Resources*, *28*(5), 453-472. https://doi.org/10.1080/08941920.2015.1014608

R., S.-K., & A.M., T. (2014). *Guide de cartographie participative géoréférencée pour la gestion communautaire du terroir*. Center for International Forestry Research (CIFOR). https://doi.org/10.17528/cifor/005242

Radley, B. (2022). Class formation and capital accumulation in the countryside : Artisanal and small-scale gold mining in South Kivu, DR Congo. *Journal of Agrarian Change*, *22*(2), 398-414. https://doi.org/10.1111/joac.12474

Raineri, L. (2020). Gold Mining in the Sahara-Sahel : The Political Geography of State-making and Unmaking. *The International Spectator*, *55*(4), 100-117. https://doi.org/10.1080/03932729.2020.1833475

Rajaee, M., Obiri, S., Green, A., Long, R., Cobbina, S. J., Nartey, V., Buck, D., Antwi, E., & Basu, N. (2015). Integrated Assessment of Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Ghana-Part 2 : Natural Sciences Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *12*(8), Article 8. https://doi.org/10.3390/ijerph120808971

Randazzo, G., Cascio, M., Fontana, M., Gregorio, F., Lanza, S., & Muzirafuti, A. (2021). Mapping of Sicilian Pocket Beaches Land Use/Land Cover with Sentinel-2 Imagery : A Case Study of Messina Province. *Land*, *10*(7), Article 7. https://doi.org/10.3390/land10070678

Razack, A. A. (2002). *Propositions pour l'optimisation de la mine artisanale au Niger Proposals for optimising artisanal mining in Niger* (37). *37*, Article 37.

Razanamahandry, L. C., Digbeu, P. M., Andrianisa, H. A., Karoui, H., Podgorski, J., Manikandan, E., Maaza, M., & Yacouba, H. (2020). Comparative methods for predicting cyanide pollution in artisanal small-scale gold mining catchment by using logistic regression and kriging with GIS. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, *12*(3), 287-295. https://doi.org/10.1080/20421338.2020.1734325

Rey, P. (2011). Droit foncier, quelles perspectives pour la Guinée? Réflexion sur la réforme foncière à partir de l'exemple de la Guinée maritime. *Annales de géographie*, *3*, 298-319. https://www.cairn.info/revue-annales-de-geographie-2011-3-page-298.htm

Rey, P. (2016). Une gouvernance locale à l'épreuve du temps. Politiques nationales, pouvoirs locaux et stratégies des miniers en Guinée. *Stichproben. Wiener Zeitschrift für kritische Afrikastudien*, *16*(30), 87-110.

RGPH3. (2014). *Troisième recensement général de la population et de l'habitation* (p. 447). Gouvernement Guinée.

Ribot, J. C., & Peluso, N. L. (2003). A theory of access. *RURAL SOCIOLOGY*, *68*(2), 153-181. https://doi.org/10.1111/j.1549-0831.2003.tb00133.x

Rip, A., & Kemp, R. (1997). *Technological change*.

Robles Mengoa, M. E., & Urán, A. (2020). Colombia : Legal Loopholes Behind Illegal Gold Trade. In B. Verbrugge & S. Geenen (Éds.), *Global Gold Production Touching Ground : Expansion, Informalization,*

and Technological Innovation (p. 151-167). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38486-9_8

Rodriguez-Galiano, V. F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M., & Rigol-Sanchez, J. P. (2012). An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *67*, 93-104. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.11.002

Ruelland, D., Tribotte, A., Puech, C., & Dieulin, C. (2011). Comparison of methods for LUCC monitoring over 50 years from aerial photographs and satellite images in a Sahelian catchment. *International Journal of Remote Sensing*, *32*(6), 1747-1777. https://doi.org/10.1080/01431161003623433

Rushemuka, M. N., & Côte, M. (2024). Artisanal and small-scale mining through a "labour regime" lens : Consolidating a research agenda on labour exploitation. *Journal of Rural Studies*, *105*, 103189. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.103189

Rutting, L., Vervoort, J., Mees, H., Pereira, L., Veeger, M., Muiderman, K., Mangnus, A., Winkler, K., Olsson, P., Hichert, T., Lane, R., Bottega Pergher, B., Christiaens, L., Bansal, N., Hendriks, A., & Driessen, P. (2023). Disruptive seeds : A scenario approach to explore power shifts in sustainability transformations. *Sustainability Science*, *18*(3), 1117-1133. https://doi.org/10.1007/s11625-022-01251-7

SAG. (2021). *Etude de faisabilité d'une concession minière de la SAG* [Rapport technique]. SAG.

Saldarriaga-Isaza, A., Villegas-Palacio, C., & Arango, S. (2013). The public good dilemma of a non-renewable common resource : A look at the facts of artisanal gold mining. *Resources Policy*, *38*(2), 224-232. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2013.02.001

Salman, T., de Theije, M., & Vélez-Torres, I. (2018). Structures, actors, and interactions in the analysis of natural resource conflicts. *Ecology and Society*, *23*(3). https://www.jstor.org/stable/26799152

Sangaré, A., Driouch, Y., Salvi, S., Féménias, O., Siebenaller, L., Belkasmi, M., Béziat, D., Dahire, M., Ntarmouchant, A., Adil, S., & Debat, P. (2014). *Géologie des minéralisations aurifères du gisement tardi-éburnéen de Kalana (Birimien, Sud-Ouest du Mali)*.

Sawadogo, E. (2021). *Discours, pratiques et dynamiques environnementales autour de l'orpaillage dans la commune de Kampti, (Sud-ouest du Burkina Faso)* [Thèse de doctorat en Géographie]. Université Joseph Ki-Zerbo - Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.

Sawadogo, E., & Da†, D. E. C. (2021). Enjeux de la mutation des techniques artisanales sur la formalisation de l'exploitation de l'or au Burkina Faso. *EchoGéo*, *58*, Article 58. https://doi.org/10.4000/echogeo.22710

Schueler, V., Kuemmerle, T., & Schröder, H. (2011). Impacts of Surface Gold Mining on Land Use Systems in Western Ghana. *AMBIO*, *40*(5), Article 5. https://doi.org/10.1007/s13280-011-0141-9

Scoones, I. (2016). The Politics of Sustainability and Development. *Annual Review of Environment and Resources*, *41*(1), 293-319. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-090039

Scoones, I., Leach, M., & Newell, P. (2015). *The politics of green transformations*. Taylor & Francis. https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/53004

Scoones, I., Stirling, A., Abrol, D., Atela, J., Charli-Joseph, L., Eakin, H., Ely, A., Olsson, P., Pereira, L., Priya, R., van Zwanenberg, P., & Yang, L. (2020). Transformations to sustainability : Combining structural,

systemic and enabling approaches. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *42*, 65-75. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.12.004

Scott, W. R. (2008). *Institutions and Organizations : Ideas and Interests*. SAGE.

Seccatore, J., & de Theije, M. (2017). Socio-technical study of small-scale gold mining in Suriname. *Journal of Cleaner Production*, *144*, 107-119. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.119

Seccatore, J., Veiga, M., Origliasso, C., Marin, T., & De Tomi, G. (2014). An estimation of the artisanal small-scale production of gold in the world. *Science of The Total Environment*, *496*, 662-667. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.003

Serrat-Capdevila, A., Browning-Aiken, A., Lansey, K., Finan, T., & Valdés, J. B. (2009). Increasing Social–Ecological Resilience by Placing Science at the Decision Table : The Role of the San Pedro Basin (Arizona) Decision-Support System Model. *Ecology and Society*, *14*(1). https://www.jstor.org/stable/26268035

Shen, L., & Gunson, A. J. (2006). The role of artisanal and small-scale mining in China's economy. *Journal of Cleaner Production*, *14*(3), 427-435. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.08.006

Sidam-Minorex, G. (1988). *Orpaillage en Guinée*. Groupe Sidam-Minorex, Montréal, QC, CA. http://hdl.handle.net/10625/783

Siegel, S., & Veiga, M. M. (2009). Artisanal and small-scale mining as an extralegal economy : De Soto and the redefinition of "formalization". *Resources Policy*, *34*(1), 51-56. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2008.02.001

Sissoko, M. F. (2019). Double rationalité sur l'orpaillage traditionnel au Mali. *Revue Africaine des Sciences Sociales et de la Santé Publique*, *1*(2), Article 2.

Siwale, A., & Siwale, T. (2017). Has the promise of formalizing artisanal and small-scale mining (ASM) failed? The case of Zambia. *The Extractive Industries and Society*, *4*(1), 191-201.

Smith, N. M., Ali, S., Bofinger, C., & Collins, N. (2016). Human health and safety in artisanal and small-scale mining : An integrated approach to risk mitigation. *Journal of Cleaner Production*, *129*, 43-52. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.124

Snapir, B., Simms, D. M., & Waine, T. W. (2017). Mapping the expansion of galamsey gold mines in the cocoa growing area of Ghana using optical remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *58*, 225-233. https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.02.009

Somé, I., Sakira, A., Ouédraogo, M., Ouédraogo, T., Traoré, A., Sondo, B., & Guissou, P. (2012). Arsenic levels in tube-wells water, food, residents' urine and the prevalence of skin lesions in Yatenga province, Burkina Faso. *Interdisciplinary Toxicology*, *5*(1), 38-41. https://doi.org/10.2478/v10102-012-0007-4

Somuah, D. P., Ros–Tonen, M. A. F., & Baud, I. (2021). Local Spatialized Knowledge of Threats to Forest Conservation in Ghana's High Forest Zone. *Environmental Management*, *68*(5), 738-754. https://doi.org/10.1007/s00267-021-01455-0

Sonter, L. J., Moran, C. J., Barrett, D. J., & Soares-Filho, B. S. (2014). Processes of land use change in mining regions. *Journal of Cleaner Production*, *84*, 494-501. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.084

Spiegel, S. J. (2009). Socioeconomic dimensions of mercury pollution abatement : Engaging artisanal mining communities in Sub-Saharan Africa. *Ecological Economics*, *68*(12), Article 12. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.07.015

Spiegel, S. J. (2014). Legacies of a nationwide crackdown in Zimbabwe: *The Journal of Modern African Studies*, *52*(4), 541-570. https://doi.org/10.1017/S0022278X14000469

Spiegel, S. J. (2015). Shifting Formalization Policies and Recentralizing Power : The Case of Zimbabwe's Artisanal Gold Mining Sector. *Society & Natural Resources*, *28*(5), 543-558. https://doi.org/10.1080/08941920.2015.1014606

Stokes-Walters, R., Fofana, M. L., Songbono, J. L., Barry, A. O., Diallo, S., Nordhagen, S., Zhang, L. X., Klemm, R. D., & Winch, P. J. (2021). "If you don't find anything, you can't eat" – Mining livelihoods and income, gender roles, and food choices in northern Guinea. *Resources Policy*, *70*, 101939. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101939

Stokols, D., Hall, K. L., Taylor, B. K., & Moser, R. P. (2008). The Science of Team Science : Overview of the Field and Introduction to the Supplement. *American Journal of Preventive Medicine*, *35*(2, Supplement), S77-S89. https://doi.org/10.1016/j.amepre.2008.05.002

Stylo, M., De Haan, J., & Davis, K. (2020). Collecting, managing and translating data into National Action Plans for artisanal and small scale gold mining. *The Extractive Industries and Society*, *7*(1), Article 1. https://doi.org/10.1016/j.exis.2019.12.002

Swenson, J. J., Carter, C. E., Domec, J.-C., & Delgado, C. I. (2011). Gold Mining in the Peruvian Amazon : Global Prices, Deforestation, and Mercury Imports. *PLoS ONE*, *6*(4), Article 4. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018875

Sylla, M., Cooke, A., Touré, M., Cissé, K., Tenguiano, S. P., Kamano, P., Rolfe, A., & Lyster, O. (2017). *Diagnostic de l'exploitation artisanale de l'or en Guinée* (p. 159) [Rapport provisoire 2ème version]. Estelle Levin Ltd - Geomin - CECIDE.

Tachikawa, T., Kashimura, O., Tanii, J., Iwasaki, A., Matsunaga, T., Tsuchida, S., & Yamamoto, H. (2012). *Outline and Prospect of Hyperspectral Imager Suite (HISUI)* (5). The Remote Sensing Society of Japan. https://doi.org/10.11440/rssj.32.280

Tankari Dan-Badjo, A., Ibrahim, O. Z., Guéro, Y., Morel, J. L., Feidt, C., & Echevarria, G. (2019). Impacts of artisanal gold mining on soil, water and plant contamination by trace elements at Komabangou, Western Niger. *Journal of Geochemical Exploration*, *205*, 106328. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.06.010

Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy Metal Toxicity and the Environment. In A. Luch (Éd.), *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology* (Vol. 101, p. 133-164). Springer Basel. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6

Telmer, K. H., & Veiga, M. M. (2008). *World emissions of mercury from artisanal and small scale gold mining and the knowledge gaps about them.*

Teschner, B. A. (2012). Small-scale mining in Ghana : The government and the galamsey. *Resources Policy*, *37*(3), 308-314. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2012.02.001

Teschner, B. A. (2014). "Orpaillage pays for everything" : How artisanal mining supported rural institutions following Mali's coup d'état. *Futures*, *62*, 140-150. https://doi.org/10.1016/j.futures.2014.04.016

Trentadue, M. (1976). Mouvements commerciaux et évolution de la Guinée française de 1928 à 1938 : L'essor de la spécialisation bananière. *Outre-Mers. Revue d'histoire*, *63*(232), 575-589.

Trompette, P., & Vinck, D. (2009). Retour sur la notion d'objet-frontière. *Revue d'anthropologie des connaissances*, *31*(1), 5-27. https://doi.org/10.3917/rac.006.0005

Tschakert, P., & Singha, K. (2007). Contaminated identities : Mercury and marginalization in Ghana's artisanal mining sector. *Geoforum*, *38*(6), Article 6. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2007.05.002

Turner, B., Lambin, E. F., & Reenberg, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*(52), 20666-20671. https://doi.org/10.1073/pnas.0704119104

Turner, M. D. (2003). Methodological Reflections on the Use of Remote Sensing and Geographic Information Science in Human Ecological Research. *Human Ecology*, *31*(2), 255-279. https://doi.org/10.1023/A:1023984813957

Ummel, M., & Schulz, Y. (2024). *Sur la piste de l'or africain. Quantifier la production et le commerce afin de lutter contre les flux illicites* (p. 140) [Rapport de recherche]. Swissaid.

United Nations Environment Programme. (2017). *Estimating Mercury Use and Documenting Practices in Artisanal and Small-scale Gold Mining (ASGM)—Methods and Tools Version 1.0*. https://wedocs.unep.org/20.500.11822/22894

USGS. (2024). Mineral Commodity Summaries. *U.S. Geological Survey*, 216.

Van Bockstael, S. (2014). The persistence of informality : Perspectives on the future of artisanal mining in Liberia. *Futures*, *62*, 10-20. https://doi.org/10.1016/j.futures.2014.02.004

Veiga, M. M., Maxson, P. A., & Hylander, L. D. (2006). Origin and consumption of mercury in small-scale gold mining. *Journal of Cleaner Production*, *14*(3), 436-447. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.08.010

Veiga, M. M., Siegel, S., Schein, P., Camara, C. S., Dejean, J., Kamara, D., & Diouf, A. (2006). *Technical Mission to the Artisanal Gold Mines in Upper Guinea*. 13.

Venot, J.-P. (2024). L'irrigation vue du ciel : Fascination et engagement critique vis-à-vis de la télédétection. *Récits de recherche sur l'eau dans un monde interdisciplinaire*. https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/93036/9782759238064.pdf?sequence=1#page=61

Verbrugge, B. (2014). Capital interests : A historical analysis of the transformation of small-scale gold mining in Compostela Valley province, Southern Philippines. *The Extractive Industries and Society*, *1*(1), 86-95. https://doi.org/10.1016/j.exis.2014.01.004

Verbrugge, B., & Geenen, S. (2020). *Global Gold Production Touching Ground : Expansion, Informalization, and Technological Innovation*. Springer Nature.

Verbrugge, B., Lanzano, C., & Libassi, M. (2021). The cyanide revolution : Efficiency gains and exclusion in artisanal-and small-scale gold mining. *Geoforum*, *126*, 267-276.

Vic, G., & Billa, M. (2015). *Geological setting and types of carbonate-hosted gold deposits in the Birimian of West Africa*.

Watts, M. (2010). *Geology of Siguiri*. 139.

Weldegiorgis, F. S., Dietsche, E., & Franks, D. M. (2021). Building mining's economic linkages : A critical review of local content policy theory. *Resources Policy*, *74*, 102312. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102312

Weng, L., & Margules, C. (2022). Challenges with formalizing artisanal and small-scale mining in Cameroon : Understanding the role of Chinese actors. *The Extractive Industries and Society*, *9*, 101046. https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101046

Werthmann, K. (2009). Working in a boom-town : Female perspectives on gold-mining in Burkina Faso. *Resources Policy*, *34*(1-2), Article 1-2. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2008.09.002

Witjes, N., & Olbrich, P. (2017). A fragile transparency : Satellite imagery analysis, non-state actors, and visual representations of security. *Science and Public Policy*, *44*(4), 524-534.

World Bank. (2020). *Achieving Sustainable and Inclusive Artisanal and Small-Scale Mining (ASM) : A Renewed Framework for World Bank Engagement*. Washington, DC: World Bank. https://doi.org/10.1596/42156

Wouloungou, J. R. B. (2018). *Ressources, territoires et conflits : Élevage bovin et exploitation minière dans l'Ouest centrafricain* [PhD Thesis, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne]. https://shs.hal.science/tel-03709016/

Wu, B., Zhao, Y., & Fang, C. (2019). Detection of Spatiotemporal Changes of Surface Mining Area in Changting County Southeast China. *IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1606-1609. https://doi.org/10.1109/IGARSS.2019.8900513

Yonlihinza, I. A. (2017). *Mines - Niger : Jusqu'où la ruée vers l'eldorado minéral ?* Le Point. https://www.lepoint.fr/economie/mines-niger-jusqu-ou-la-ruee-vers-l-eldorado-mineral-16-05-2017-2127668_28.php

Zaehringer, J. G., Llopis, J. C., Latthachack, P., Thein, T. T., & Heinimann, A. (2018). A novel participatory and remote-sensing-based approach to mapping annual land use change on forest frontiers in Laos, Myanmar, and Madagascar. *Journal of Land Use Science*, *13*(1-2), 16-31. https://doi.org/10.1080/1747423X.2018.1447033

Zakari, S., Imorou, I. T., Thomas, O. A. B., Djaouga, M., & Arouna, O. (2018). Application De La Télédétection Et Du Sig Au Suivi Des Formations Végétales De La Forêt Classée Des Trois Rivières Au Nord-Est Du Bénin. *European Scientific Journal, ESJ*, *14*(15), Article 15. https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n15p450

Zioła-Frankowska, A., Kubaszewski, Ł., Dąbrowski, M., Kowalski, A., Rogala, P., Strzyżewski, W., Łabędź, W., Uklejewski, R., Novotny, K., Kanicky, V., & Frankowski, M. (2015). The Content of the 14 Metals in Cancellous and Cortical Bone of the Hip Joint Affected by Osteoarthritis. *BioMed Research International*, *2015*, 1-23. https://doi.org/10.1155/2015/815648

Zolnikov, T. R. (2020). Effects of the government's ban in Ghana on women in artisanal and small-scale gold mining. *Resources Policy*, *65*, 101561. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101561

Zongo, T. (2019). *Orpaillage et dynamiques territoriales dans la province du sanmatenga « le pays de l'or » au burkina faso »*.

ANNEXES

A1 : Guide d'entretiens

Thématique	Termes clés
Comprendre la gouvernance, les acteurs, les institutions et leurs rôles	acteur sur le site, acteur du village, titre, poste relations de pouvoir, relation inter-acteur, prise de décision, rôles qui décide d'exploiter le site, composition d'équipe
Comprendre la régulation, les différentes règles	règles, lois, normes, organisation du travail partage du minerai, paiement de taxes et d'impôts modalités d'accès au site, sanction, difficultés d'application
Evolution technique	Historique de l'exploitation de l'or Techniques d'exploitation, outils utilisés, choix d'outil, différentes étapes de production Evolution technique
Comprendre la durabilité	Production d'or, importance pour le village Rôle dans la réduction de la pauvreté, amélioration du niveau de vie, dangers pour l'environnement, dangers pour les personnes avenir du village, futur de l'orpaillage

A2 : Fiches d'enquête

Questionnaire pour les orpailleurs

1. Statut

Sexe : F, H

Statut : Marié, célibataire, divorcé, veuf

Age (ou année de naissance) :

Niveau d'étude : non scolarisé, scolarisé, universitaire

Activité pratiquée sur le site :

2. Mobilité

Êtes-vous originaire de ce village ? Oui non

Si non, quel est votre village d'origine ?

Exerciez-vous autre activité avant l'orpaillage ? Oui non

Si oui laquelle ?

Depuis combien de temps travaillez-vous dans les mines d'or ?

Depuis combien de temps travaillez-vous sur ce site en particulier ?

Avez-vous une activité secondaire ? Oui non

Si oui, laquelle ?

3. Perception des impacts

Avantages

L'orpaillage a-t-il des avantages ? Oui non

L'orpaillage a-t-il des avantages pour vous ?

Si oui lesquels ?

Abandonneriez-vous l'orpaillage si vous faites un gain important ? Oui non

Si oui, vers quelle activité vous orienteriez-vous ?

Est-ce que vos revenus dans l'orpaillage vous permettent de satisfaire les besoins du ménage ? Oui Non Sans réponse

Santé

D'après vous, votre travail peut-il entraîner des problèmes de santé ? Oui non

Si oui, lesquels ?

Connaissez-vous les produits chimiques utilisés dans l'orpaillage ? Oui non

Si oui lesquels ?

Ces produits peuvent-ils entraîner des problèmes de santé ? Oui non

Savez-vous que le mercure peut entraîner des problèmes de santé ? oui non

Si oui, comment lesquels ?

Savez-vous que le cyanure peut entraîner des problèmes de santé ?

Si oui, comment lesquels ?

Environnement

L'orpaillage a-t-il des conséquences sur le sol ? Oui non ne sait pas

Si oui lesquelles ?

L'orpaillage a-t-il des conséquences sur la végétation ? Oui non ne sait pas

Si oui lesquelles ?

L'orpaillage a-t-il des effets sur l'air ? Oui Non ne sait pas

Si oui lesquels ?

L'orpaillage a-t-il des conséquences sur l'eau ? Oui non ne sait pas

Si oui lesquelles ?

L'orpaillage a-t-il des conséquences sur les ressources agricoles ? Oui non ne sait pas

Si oui lesquelles ?

L'orpaillage a-t-il des conséquences sur les ressources aquatiques ? Oui non ne sait pas

Si oui lesquelles ?

Avec l'avènement de l'orpaillage avez-vous constaté une diminution de la faune ? Oui Non ne sait pas

Si oui, quelles sont les causes de cette perte ?

Avec l'avènement de l'orpaillage avez-vous constaté une diminution de la flore ? Oui Non ne sait pas

Si oui, quelles sont les causes de cette perte ?

Social

Avec l'avènement de l'orpaillage avez-vous constaté une diminution de l'entente entre les populations ? oui non sans réponse

Si oui, donnez un exemple

Avec l'avènement de l'orpaillage avez-vous constaté des changements dans les mœurs sociales ? oui non sans réponse

Si oui, donnez un ou des exemples

Avec l'avènement de l'orpaillage avez-vous constaté l'apparition des conflits ? Oui Non Sans réponse

Si oui, les conflits sont-ils le plus fréquents entre :

- Entre Populations du site
- Entre orpailleurs et populations du site
- Entre orpailleurs et autorités coutumières
- Entre orpailleurs et autorités étatiques
- Entre populations locales et autorités coutumières
- Entre populations et autorités étatiques
- Entre deux villages
- Entre autorités coutumières et autorités étatiques

Quelles sont les raisons principales pour lesquelles les conflits éclatent ?

Avec l'avènement de l'orpaillage avez-vous constaté la déscolarisation des jeunes ? oui non ne sait pas

Préoccupation

Quels sont les problèmes qui vous préoccupent le plus dans l'orpaillage ?

Vos conditions de travail sont-elles satisfaisantes ? Oui non

Si non que proposez-vous pour son amélioration ?

Questionnaire pour autorités locales

1. Statut de la personne

Sexe : F, H

Statut : Marié, célibataire, divorcé, veuf

Age (ou année de naissance) :

Niveau d'étude : alphabétisé, non scolarisé, universitaire

Fonction :

Depuis combien de temps occupez-vous cette fonction ?

2. Perception des impacts

Avantages de l'orpaillage

Depuis quand la pratique de l'orpaillage existe dans votre localité ? si inconu : Temps colon, temps sékou, temps conté, temps alpha

Quel était la place de l'orpaillage dans votre village avant les années 2010 ? Moyen important très important

Quelle place occupe-t-il aujourd'hui ? Moyen important très important

L’orpaillage a-t-il des avantages ? Oui non sans réponse

Si oui, lesquels ?

L'orpaillage a-t-il amélioré les conditions de vie des populations ? Oui non sans réponse

Si oui, dans quelle mesure a-t-il amélioré les conditions de vie des populations ?

Les acteurs présents dans les sites payent-ils des taxes aux autorités coutumières ? Oui Non Sans réponse

Si oui, combien paient-ils pour ces taxes et à quels acteurs ?

Les acteurs présents dans les sites payent-ils des impôts aux autorités étatiques locales ? Oui Non Sans réponse

Si oui, combien paient-ils pour ces impôts et à quels acteurs ?

Sont-ils collectés régulièrement ? Oui Non Sans réponse

Si oui, à quelle fréquence ?

Quelle est la contribution de l'orpaillage au budget communal ?

Est-ce que le village a enregistré des progrès avec l’orpaillage ? Oui non

Si oui lesquels ?

Quelles sont les infrastructures réalisées grâce à l’orpaillage dans votre village ? à citer

Inconvénients de l'orpaillage

Santé

Pensez-vous que l’orpaillage peut entraîner des problèmes sanitaires ? Oui non

Si oui, lesquels et pour quelles raisons ?

Connaissez-vous les produits chimiques utilisés par les orpailleurs ? Oui non

Si oui lesquels ?

Ces produits peuvent-ils entraîner des problèmes de santé à votre connaissance ? Oui non

Si oui lesquels ?

Savez-vous que le mercure peut entraîner des problèmes de santé ?

Comment ?

Savez-vous que le cyanure peut entraîner des problèmes de santé ?

Comment ?

Environnement

L’orpaillage a-t-il des conséquences sur le sol ? Oui non ne sait pas

Si oui lesquelles ?

L’orpaillage a-t-il des effets sur l’air ? Oui Non ne sait pas

Si oui lesquelles ?

L’orpaillage a-t-il des conséquences sur l’eau ? Oui non ne sait pas

Si oui lesquelles ?

L’orpaillage a-t-il des conséquences sur les ressources agricoles ? Oui non ne sait pas

Si oui lesquelles ?

L’orpaillage a-t-il des conséquences sur les ressources aquatiques ? Oui non ne sait pas

Si oui lesquelles ?

Avec l’avènement de l’orpaillage avez-vous constaté une diminution de la faune ? Oui Non ne sait pas

Si oui, quelles sont les causes de cette perte ?

Avec l’avènement de l’orpaillage avez-vous constaté une diminution de la flore ? Oui Non ne sait pas

Si oui, quelles sont les causes de cette perte ?

Social

Quels sont selon vous les principaux problèmes auxquels vous êtes confronté au niveau de l’orpaillage ?

L’orpaillage entraine-t-il un afflux de la population vers le village ? Oui Non Ne sait pas

Avez-vous des chiffres précis ? Oui non

Si oui, lesquels ?

Si oui est-ce une bonne/mauvaise chose selon vous ? Bonne mauvaise je ne sais pas

Pourquoi ?

Y a-t-il des contraintes liées à ce flux ? Oui Non Sans réponse

Si oui, lesquelles ?

Est-ce que les orpailleurs respectent les coutumes des résidents ? Oui Non Sans réponse

Si non, donnez un ou des exemples

Est-ce que le cimetière fait l’objet de l’exploitation par les mineurs ? Oui non ne sait pas

Est-ce que l’exploitation se déroule à l’intérieur des maisons ? Oui non ne sait pas

Est-ce que les bois sacrés font l’objet d’exploitation ? Oui non ne sait pas

Est-ce que vous observez changement dans les mœurs sociales avec l’avènement de l’orpaillage ? Oui Non Sans réponse

Si oui, donnez des exemples

Avec l’avènement de l’orpaillage avez-vous constaté l'apparition des conflits ? Oui Non Sans réponse

Si oui, les conflits sont-ils le plus fréquents entre :

- Entre Populations du site
- Entre orpailleurs et populations du site
- Entre orpailleurs et autorités coutumières
- Entre orpailleurs et autorités étatiques
- Entre populations locales et autorités coutumières
- Entre orpailleurs et autorités étatiques

Quelles sont les raisons principales pour lesquelles les conflits éclatent ?

Avec l'avènement de l'orpaillage avez-vous constaté la déscolarisation des jeunes ? Oui Non Sans réponse

Si oui, quelles sont les raisons ?

Préoccupations

Vos conditions de travail sont-elles adéquates ? Oui non

Si non, que proposez-vous pour son amélioration ?

Questionnaire pour agents de sante

1. Statut de la personne

Sexe : F, H

Statut : Marié, célibataire, divorcé, veuf

Age (ou année de naissance) :

Niveau d'étude : alphabétisé, non scolarisé, universitaire

Fonction :

Depuis combien de temps occupez-vous cette fonction ?

2. Perception des impacts

Depuis combien de temps votre clinique/centre santé est-elle ouverte ?

D'où vient la majorité de vos patients ? village, village proche, village de sous-préfecture, autres

De quelles maladies souffrent le plus vos patients ?

Quel est le rayon de couverture de votre clinique/ centre de santé ?

Quel est le taux de fréquentation du centre de santé ?

Pensez-vous qu'il y a des maladies liées à l'orpaillage ? Oui non

Si oui lesquelles ?

Selon vous l'orpaillage a- t-il des avantages ? Oui non

Si oui lesquels ?

Quels sont selon vous les inconvénients de l'orpaillage ?

Pensez-vous de l'utilisation des produits chimiques peut avoir des conséquences sur la santé ?

Questionnaire pour les populations

1. Statut

Sexe : F, H

Statut : Marié, célibataire, divorcé, veuf

Age (ou année de naissance) :

Niveau d'étude : alphabétisé, non scolarisé, universitaire

2. Activité

Depuis quand la pratique de l'orpaillage existe dans votre localité ? Temps Colon, temps Sékou, temps Conté, temps Alpha

Quel était la place de l'orpaillage dans votre village avant les années 2010 ? Moyen important très important

Quelle place occupe-t-il aujourd'hui ?

Est-ce que vous pratiquez l'orpaillage ? Oui non sans réponse

Si oui, depuis combien de temps travaillez-vous dans les mines d'or ?

Est-ce une activité principale pour vous ?

Si non, quelle est votre activité principale

Est-ce que vos revenus de l'orpaillage vous permettent de satisfaire les besoins du ménage ? Oui Non Sans réponse

Si non, quelles autres sources de revenus avez-vous ?

3. Perception des impacts

Avantages

L'orpaillage a-t-il des avantages ? Oui non Pas de réponse

Si oui lesquels ?

Est-ce que les revenus tirés de l'orpaillage profitent selon vous au village ? Oui Non Sans réponse

Comment ?

Les acteurs présents dans les sites payent-ils des taxes aux autorités coutumières ? Oui Non Sans réponse

Si oui, combien et à quels acteurs ?

Sont-ils collectés régulièrement ? Oui Non Sans réponse

Les acteurs présents dans les sites payent-ils des impôts aux autorités locales étatiques ? Oui Non Sans réponse

Si oui, combien et à quels acteurs ?

Sont-ils collectés régulièrement ? Oui Non Sans réponse

Est-ce que selon vous, ces impôts et taxes ont un apport dans l'économie du village ? Oui Non Sans réponse

Si oui, pouvez-vous nous citer les principaux apports ?

Si non, pourquoi ?

Préoccupations

Quels sont les principaux problèmes en lien avec l'orpaillage qui préoccupent le plus le village selon vous ?

Santé

D'après vous, l'orpaillage est-il à l'origine de problèmes de santé dans votre localité ? Oui non

Si oui, lesquels

Connaissez-vous les produits chimiques utilisés dans l'orpaillage ? Oui non

Si oui lesquels ?

Ces produits peuvent-ils entraîner des problèmes de santé ? Oui non ne sais pas

Environnement

L'orpaillage a-t-il des conséquences sur le sol ? Oui non ne sait pas

Si oui lesquelles ?

L'orpaillage a-t-il des effets sur l'air ? Oui non ne sait pas

L'orpaillage a-t-il des conséquences sur l'eau ? Oui non ne sait pas

Si oui lesquelles ?

L'orpaillage a-t-il des conséquences sur les ressources aquatiques ? Oui non ne sait pas

Si oui lesquelles ?

L'orpaillage a-t-il des conséquences sur les ressources agricoles ? Oui non ne sait pas

Si oui lesquelles ?

Avec l'avènement de l'orpaillage avez-vous constaté une diminution de la faune ? Oui Non ne sait pas

Si oui, quelles sont les causes de cette perte selon vous ?

Avec l'avènement de l'orpaillage avez-vous constaté une diminution de la flore ? Oui Non ne sait pas

Si oui, quelles sont les causes de cette perte selon vous ?

Social

L'orpaillage entraine-t-il un afflux de la population vers le village ? Oui Non ne sais pas

Si oui est-ce une bonne/mauvaise chose selon vous ? Bonne mauvaise ne sait pas

Pourquoi ?

Y a-t-il des contraintes liées à cet afflux ? Oui Non Sans réponse

Si oui, lesquelles ?

Est-ce que le cimetière fait l'objet de l'exploitation par les mineurs ? Oui non ne sait pas

Est-ce que l'exploitation se déroule à l'intérieur des maisons ? Oui non ne sait pas

Est-ce que les bois sacrés font l'objet d'exploitation ? Oui non ne sait pas

Est-ce que vous observez changement dans les mœurs sociales avec l'avènement de l'orpaillage ? Oui Non Sans réponse

Si oui, donnez un ou plusieurs exemples

Est-ce que les orpailleurs respectent les coutumes des résidents ? Oui Non Sans réponse

Si non, donnez un ou des exemples

Avec l'avènement de l'orpaillage avez-vous constaté l'apparition des conflits ? Oui Non Sans réponse

Si oui, les conflits sont-ils le plus fréquents entre :

- Entre Populations du site
- Entre orpailleurs et populations du site
- Entre orpailleurs et autorités coutumières
- Entre orpailleurs et autorités étatiques
- Entre populations locales et autorités coutumières
- Entre orpailleurs et autorités étatiques

Quelles sont les raisons principales pour lesquelles les conflits éclatent ?

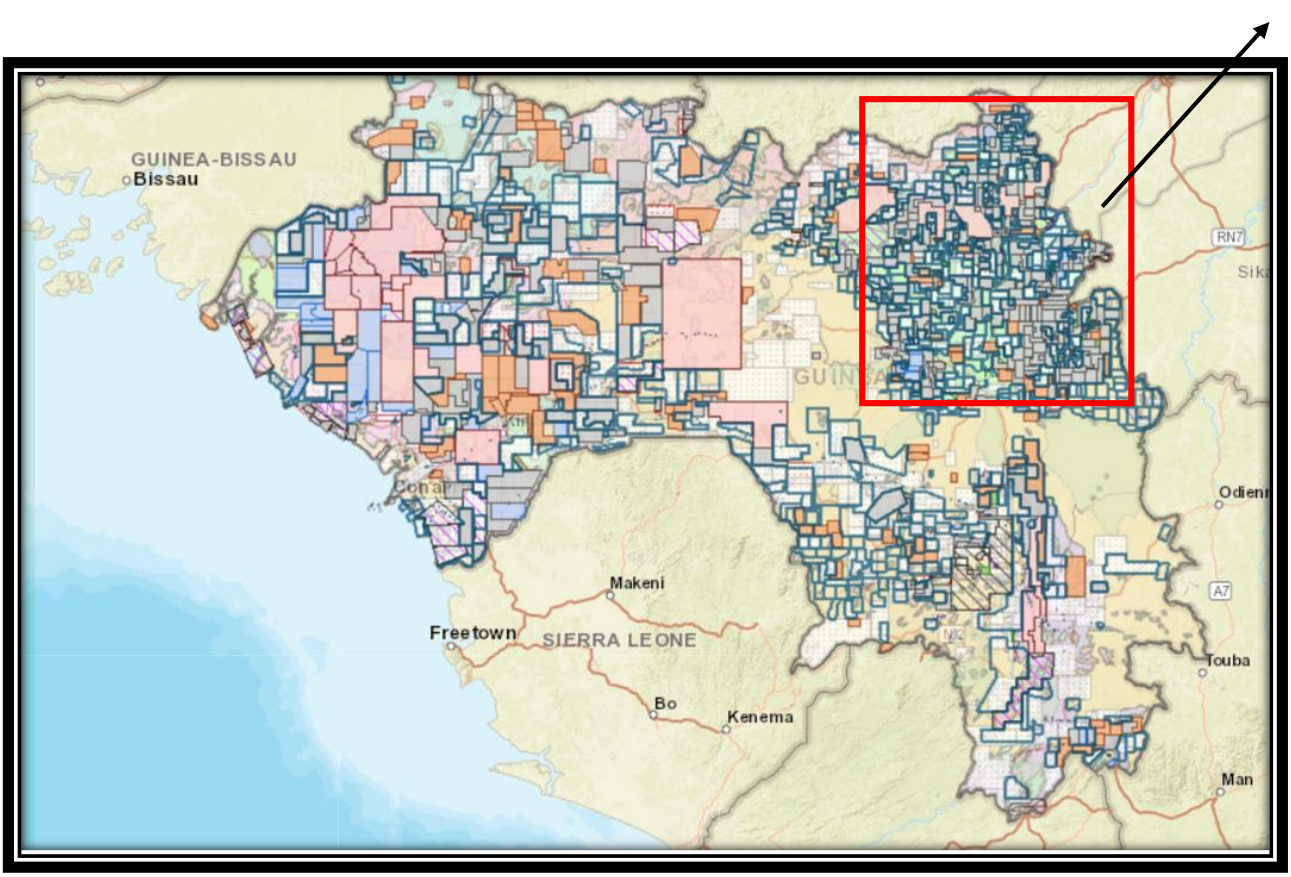
Est-ce que l'orpaillage entraîne selon vous la déscolarisation des enfants ? Oui Non ne sait pas

Quels sont les problèmes auxquels vous êtes confronté sur le site ?

A3 : Exportation d'or (once) de la Guinée

année	oz indus	tonne	oz art
2010	254 000	7,9	-
2011	488 387	15,1	
2012	462 045	14,5	147 490
2013	478 197	14,9	201 688
2014	195 744	6,3	267 881
2015	523 580	16,0	83 818
2016	499 812	15,6	438 215
2017	580 957	18,3	914 927
2018	474 104	14,7	260 011
2019	440 626	13,7	446 548
2020	440626		2 522 622
2021	577626		2669075
2022	764273		2041006
2023	596984		1866607

A4 : Cadastre minier de la Guinée[8]



[8] https://guinee.cadastreminier.org/fr/ Consulté le 24 avril 2025