

Impacts de l'exploitation minière aurifère sur les composantes biophysiques de l'environnement à Aouzegueur dans la commune rurale de Tabelot (Agadez, Nord-Niger)

[Impacts of gold mining on the biophysical components of the environment at Aouzegueur in the rural commune of Tabelot (Agadez, North-Niger)]

Hassane Yaou Tahirou¹, Hamadou Younoussa Bachirou¹, Moussa Issaka Abdoul Kader², Hamza Saidou Bassara¹, Hassane Boubou³, Abdourhamane Toure Amadou³, and Garba Zibo¹⁻³

¹Faculté des Sciences et Techniques, Département de Numérisation des Sciences de l'Environnement, Université de Dosso, BP 230 Dosso, Niger

²Faculté des Sciences et Techniques, Département des sciences géologiques et environnementales, Université André Salifou de Zinder, BP 656 Zinder, Niger

³Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie, Université Abdou Moumouni de Niamey, BP 10662 Niamey, Niger

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In Niger, artisanal and scale mining contributes to reducing the poverty of populations in rural areas by injecting considerable monetary income but creates many environmental problems. This study aims to analyze the environmental impacts of artisanal and small-scale mining at the Aouzegueur mining sector, with a view to helping reduce the environmental risks associated with the activity. The methodological approach consisted of field observations, surveys and interviews with stakeholders directly or indirectly associated with gold mining. Furthermore, a diachronic analysis of changes in the landscape of the Aouzegueur sector was carried out on the basis of satellite images. The results show, on the one hand, a significant regression in the areas of natural vegetation, hills and rocky terrain in favor of sand dunes. On the other hand, they show that gold mining has considerable negative impacts in the study area, particularly on soil, water, air, fauna and flora. Implementing an effective environmental management plan will limit the impacts of gold mining activities on these environmental components.

KEYWORDS: environment, artisanal mining, small-scale, pollution, Aouzegueur.

RESUME: Au Niger, l'exploitation minière artisanale et à petite échelle contribue à réduire la pauvreté des populations en milieu rural par injection de revenu monétaire considérable mais, engendre beaucoup de problèmes environnementaux. Cette étude vise à analyser les impacts environnementaux liés à l'exploitation minière artisanale et à petite échelle dans le secteur minier d'Aouzegueur en vue de contribuer à réduire les risques environnementaux liés à l'activité. L'approche méthodologique a consisté à des observations de terrain, à des enquêtes et des entretiens avec les acteurs directement ou indirectement associés à l'exploitation aurifère. Par ailleurs, une analyse diachronique des mutations du paysage du secteur d'Aouzegueur a été réalisée sur la base d'images satellitaires. Les résultats montrent, d'une part, une régression significative des superficies de la végétation naturelle, des collines et des terrains rocaillieux au profit des dunes de sable. D'autre part, ils montrent que l'exploitation aurifère a des impacts négatifs considérables dans le secteur d'étude, notamment sur le sol, l'eau, l'air, la faune et la flore. La mise en place d'un plan de gestion environnementale efficace permettra de limiter les impacts des activités de l'exploitation de l'or sur ces composantes de l'environnement.

MOTS-CLEFS: environnement, exploitation minière artisanale, petite échelle, pollution, Aouzegueur.

1 INTRODUCTION

L'extraction minière artisanale et à petite échelle peut se définir comme une activité d'exploitation minière artisanale ou semi-mécanisée [1]. Elle concerne environ 40,5 millions de personnes dans le monde [2] et occupe une place importante dans les économies de certains pays [3]. Dans beaucoup de pays d'Afrique de l'Ouest, l'exploitation minière artisanale et à petite échelle représente un moyen de subsistance pour des millions de personnes et une source importante de développement économique pour de nombreuses communautés rurales [4], [5]. Dans l'ensemble des pays d'Afrique de l'Ouest francophone, l'or est reconnu comme l'une des principales ressources extraites par l'exploitation minière artisanale et à petite échelle [4].

Au Niger, les zones d'exploitation minière artisanale et à petite échelle concernant l'or sont répertoriées principalement dans le Liptako (région de Tillabéry), dans l'Aïr et le Djado (région d'Agadez) [6]. Ainsi, l'historique de l'orpaillage a démarré dans la région de Tillabéry au milieu des années 1980 et s'est étendu en 2014 dans la région d'Agadez, notamment à Aouzegueur, Ible, Dabaga, Fassou, Gofat, Djado et Tafassasset [7]. Récemment, en 2021, cette activité est apparue dans la région de Maradi à Dan Issa [7]. L'exploitation minière artisanale et à petite échelle contribue à l'économie du pays qui regorge plus de 200 sites [7], employant plus de 365 000 personnes [8] et plus de 800 000 personnes en dépendent en milieu rural [7]. Selon le Ministère des Mines du Niger, la quantité d'or issue de l'exploitation minière artisanale et à petite échelle est passée de 350,7076 kilogrammes en 2017 à 18,307 tonnes d'or en 2020 [9].

Dans la perspective d'intégration du secteur minier artisanal dans l'économie nationale, [10] a estimé que le Niger devra nécessairement adopter des mesures de nature à augmenter les taux de récupération de l'or, diminuer la fraude, préserver l'environnement et la santé des artisans contre la pollution par des produits chimiques. Ces mesures participent à la réduction de l'insécurité alimentaire due aux insuffisances des productions agro-pastorales suite aux déficits pluviométriques [10].

L'exploitation minière artisanale et à petite échelle, contribue à réduire la pauvreté des populations en milieu rural par injection de revenu monétaire, mais engendre beaucoup de problèmes environnementaux en ce qui concerne la déforestation, la dégradation des sols, la pollution de l'air, des sols et de l'eau, la perte de la biodiversité et le façonnement du paysage [11], [12]. L'exploitation minière qui se développe autour de certaines aires protégées (Termit, Aïr Ténéré, parc W) constitue une menace sérieuse en termes de pollution et de pressions sur les ressources hydriques, et un facteur d'attraction des populations susceptibles d'accroître le besoin en ressources naturelles [13]. Dans la zone d'étude, les activités d'orpaillage au niveau du mont Takoukouzet et en bordure sud de la Réserve Naturelle Nationale de l'Aïr et du Ténéré, en forte augmentation depuis 2018, constituent une menace très sérieuse pour la faune et en particulier pour la survie d'une des trois (3) dernières populations de gazelle dama à l'état sauvage, en danger critique d'extinction [14]. Il est alors impératif que des mesures soient prises pour réduire les mauvaises pratiques de l'activité, d'où la nécessité d'organiser le secteur. C'est dans ce contexte qu'intervient cette étude qui a pour objectif d'analyser les impacts environnementaux liés à l'exploitation minière artisanale et à petite échelle dans le secteur minier d'Aouzegueur afin de contribuer à réduire les risques environnementaux liés à l'activité. De façon spécifique, il s'agit de présenter les techniques de l'exploitation minière artisanale et à petite échelle dans le secteur minier d'Aouzegueur, de déterminer la dynamique d'occupation du sol du secteur minier d'Aouzegueur et de caractériser les impacts de l'exploitation minière artisanale et à petite échelle sur les composantes biophysiques de l'environnement du secteur minier d'Aouzegueur.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 ZONE D'ETUDE

La zone d'étude se trouve à Aouzegueur (9°37'15,25" de longitude Est et 17°30'05,46" de latitude Nord), une localité de la commune rurale de Tabelot dans la région d'Agadez (Fig.1). Elle est située en plein cœur du désert à 200 km au Nord-Est d'Agadez, chef-lieu de la région et couvre une superficie de 1292,88 km².

Le climat, de type saharien et semi-aride est caractérisé par deux types de vents: l'Harmattan de direction Nord-Est qui souffle d'octobre à mai et la Mousson de direction Sud-Ouest qui souffle de juin à septembre. La température annuelle moyenne à Tabelot est très élevée (29.7°C). La chaleur constamment présente s'associe aux vents et provoque une intense évaporation. Trois saisons se succèdent: une saison froide de novembre à février; une saison chaude de mars à juin et une saison pluvieuse de juin à septembre [15]. La moyenne de pluie pour la période 2012-2021 est de 184,65mm. La variabilité annuelle et interannuelle des pluies est importante. Le rapport précipitation/évapotranspiration est de 0,006. Les précipitations de plus de 20 mm provoquent des écoulements d'eaux importants issus des bassins versants des massifs montagneux entraînant des dégâts sur les cultures et des pertes de terres [16].

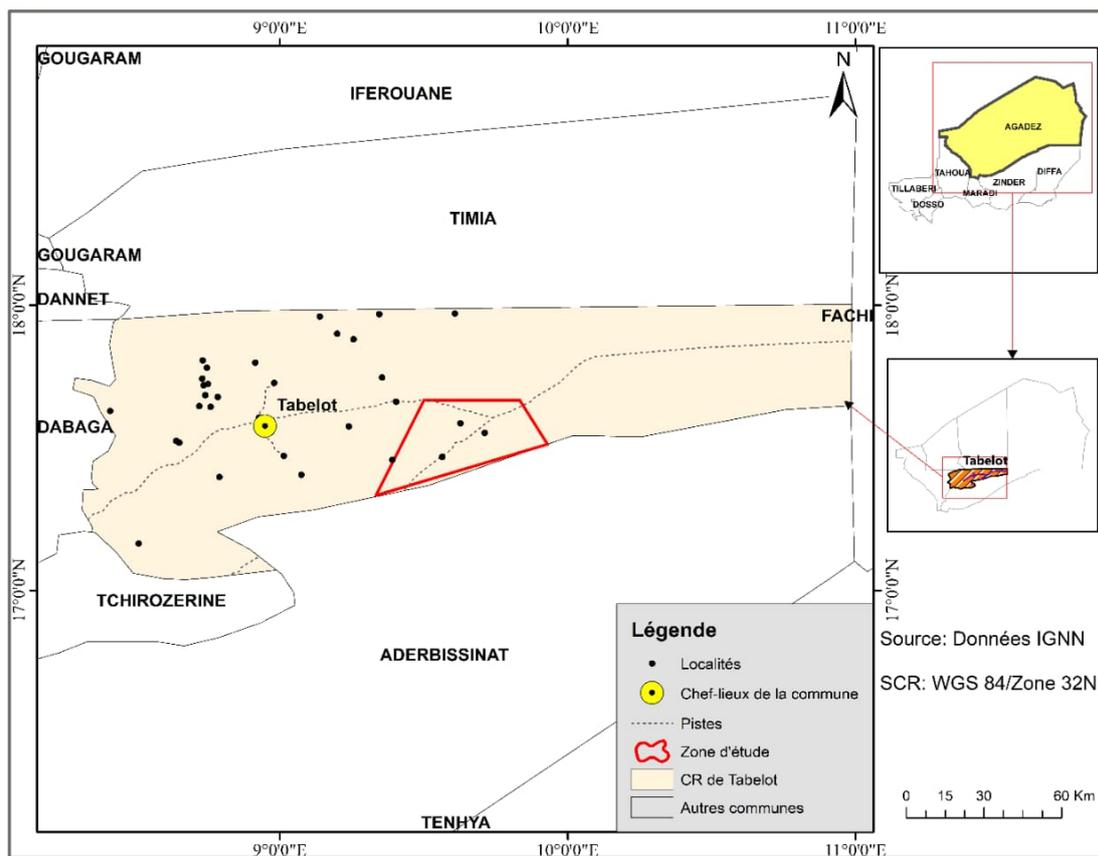


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

Le relief est caractérisé par des massifs montagneux de type granitique ou volcanique, des collines et des pénéplaines. A l'intérieur et sur le pourtour des massifs montagneux se trouvent des vallées (appelées Oueds ou koris) encaissées, à profil en V et à pente forte, ainsi que des vallées alluviales larges à fond plat et à pente faible » [17]. La quasi-totalité de l'espace de la zone d'étude est occupée par des collines, d'où prennent naissances de nombreux réseaux hydrographiques dont les principaux sont: Tazizilet, Ibenjir, Issoukounougour et Tabelot (80km à l'ouest d'Aouzegueur).

Sur le plan géologique, la zone d'étude fait partie du bloc d'Aouzegueur qui forme la partie Est du massif de l'Air. Elle est composée d'une séquence ophiolitique de roches sédimentaires clastiques de l'unité d'Arrei et de la suite tonalite-trondhjémite-grandiorite d'Eberjegui [18], [19].

L'hydrogéologie est caractérisée par la coexistence de deux réservoirs [20]. Le premier est représenté par le socle et se caractérise par une porosité et une transmissivité faible [21] tandis que les formations argilo-sableuses des alluvions d'oueds constituent le deuxième réservoir qui est important du fait de sa capacité d'emménagement [22]. Les aquifères constitués dans ces formations sont localisés sur les bords, et au fond des koris qui entaillent généralement les massifs jeunes aux piémonts desquels se trouvent les sources et les aguilmames [23]. Les profondeurs des venues d'eau des aquifères constitués dans le socle discontinu se situent entre 16 et 24 m, celles des aquifères constitués dans les zones altérées du socle (aquifères des altérites) se situent à une moyenne de 22 m environ [24]. Pour les aquifères des alluvions, les profondeurs de venues d'eau se situent entre 6 et 18 m [23].

La végétation se trouve sur les bordures des vallées, dans certaines plaines inondables et sur les reliefs (montagnes et collines). Elle est composée de plusieurs espèces ligneuses et des herbacées qui sont très abondantes en dépit de la nature du terrain qui est un espace ouvert sur un sol sablonneux. C'est une zone par excellence de production de ressources pastorales [25].

La faune est très diversifiée et se trouve pour l'essentiel dans la Réserve Naturelle Nationale de l'Air et du Ténére qui s'étend entre les montagnes de l'Air (sommets à 2200 mètres) et le désert du Ténére et qui couvre 58,40% (755,04 Km²) de la superficie de la zone d'étude. Cette faune est sérieusement menacée à cause du braconnage, de l'avancée du désert et surtout de l'occupation anthropique de plus en plus accélérée de nouvelles terres par les agriculteurs et les exploitants miniers [25].

La population d'Aouzegueur est estimée à 5503 habitants en 2018 sur les 7792 orpailleurs de l'Air soit 70,62% [26]. Elle est composée d'agropasteurs, de transhumants et des artisans miniers venus de toutes les régions du Niger et d'étrangers.

2.2 DONNEES UTILISEES

Les données utilisées dans le cadre de cette étude sont constituées de données primaires qui ont été collectées par observation directe sur le terrain lors des différentes sorties réalisées et à travers une enquête auprès des riverains du secteur minier d'Aouzegueur. Ces données ont été complétées par des données issues de la documentation existante et de données cartographiques.

2.2.1 OBSERVATIONS SUR LE TERRAIN

Cette technique a permis de déterminer les différentes activités de l'extraction de l'or, d'identifier celles qui ont des impacts sur les composantes biophysiques de l'environnement à savoir les ressources en eaux, le sol, la flore, la faune et l'air. Elle a aussi permis de découvrir les produits chimiques et les quantités d'eaux utilisées dans les différents types de traitement du minerai. L'observation a souvent été complétée par des témoignages des différents acteurs intervenant dans le cadre de l'exploitation minière de l'or.

2.2.2 ENQUETE SUR LES IMPACTS DE L'EXPLOITATION MINIERE AURIFERE

Une enquête a été menée du 15 au 30 juillet 2022 auprès de 55 riverains du secteur minier d'Aouzegueur. Elle a pour objectif de recueillir les perceptions des populations sur les impacts liés à l'exploitation minière artisanale et à petite échelle et ses activités connexes, notamment sur le milieu biophysique. Les enquêtés ont été choisis au hasard et interviewés sur la base d'un questionnaire réalisé sur Kobocollect qui a aussi servi à la notation des réponses aux questions posées et à leur analyse. Cette enquête a été complétée par des entretiens avec les exploitants miniers et les cadres de l'administration minière de Tabelot.

2.2.3 DONNEES CARTOGRAPHIQUES

Ces données sont constituées des coordonnées géographiques des zones d'activités, des forages d'eau et des localités (villages) du secteur minier d'Aouzegueur, d'images satellites, d'image Google Earth, du fichier de forme (shapfile) des communes du Niger et d'un fichier de forme (shapfile) qui a servi à la délimitation de la zone d'étude. Les coordonnées géographiques ont été prises à l'aide du Géopositionnement par satellite (GPS Garmin map 78S) et ont servi à géolocaliser les villages, les zones d'activités aurifères du secteur minier d'Aouzegueur et les forages qui alimentent les sites d'activités aurifères. L'image Google Earth a servi à digitaliser un kori situé à proximité des zones de traitements du minerai. Quant aux images satellites, elles sont constituées d'images Landsat-7 (Capteur ETM - Enhanced Thematic Mapper) et Landsat-8 (Capteur OLI-TIRS - Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor) d'une résolution de 30m*30m, téléchargées sur le site de l'USGS (earth explorer) Glovis.usgs.gov. Ces types d'images ont été utilisés pour cartographier l'occupation du sol sur d'autres sites d'exploitations aurifères par plusieurs auteurs parmi lesquels [27] et [28]. Pour mieux percevoir les changements induits par les activités d'exploitation de l'or, la période allant de 2000 à 2022 a été retenue. Ainsi, les images satellites des mois de mars 2000 et de mai 2022 ont été utilisées, soit 22 ans après le début de mise en exploitation du secteur minier d'Aouzegueur. Les deux dates correspondent respectivement aux périodes avant et pendant l'exploitation minière de l'or dans la zone d'étude, périodes durant lesquelles les objets ou unités d'occupation du sol de la zone d'étude sont observables et donc cartographiables. Ces images permettront de caractériser la dynamique de l'occupation du sol dans la zone d'étude en déterminant les changements intervenus depuis le début de la mise en exploitation des sites dans le secteur minier d'Aouzegueur.

2.3 TRAITEMENT DES DONNEES CARTOGRAPHIQUES

Les données cartographiques ont été traitées à l'aide des logiciels QGIS 3.20 et ArcGIS 10.8. Le premier a servi à la réalisation des cartes des zones d'activités aurifères et de répartition des forages de la zone d'étude, ainsi qu'à la digitalisation d'un Kori sur l'image Google Earth. Le second a été utilisé pour la réalisation de la carte de localisation de la zone d'étude et le traitement des images Landsat. Le traitement de ces images, préalablement géoréférencées, a commencé par la réalisation d'une composition colorée de trois bandes (bandes 4, 3,2 pour l'image de 2000 et bandes 5, 4,3 pour l'image de 2022) afin de faciliter l'identification des objets ou unités d'occupation du sol du secteur minier d'Aouzegueur. Ainsi, quatre (4) unités ont été identifiées: végétation, terrains rocaillés, collines et dunes de sable. Ensuite, des parcelles d'entraînement ont été délimitées dans les différentes unités d'occupation du sol du secteur. Les parcelles d'entraînement ont été utilisées comme des signatures spectrales de référence pour discriminer une unité. Ces signatures ont servi à la classification des images par la méthode supervisée par maximum de vraisemblable. La délimitation de la zone d'étude a été réalisée à l'aide du fichier de forme réalisé par le ministère des mines. En fin des corrections ont été apportées aux images classifiées sur la base de visites sur le terrain et l'usage de Google Earth.

Le taux d'évolution (T_v) des unités d'occupation du sol en termes de progression ou de régression a été déterminé à l'aide de la formule suivante [29]: $T_v (\%) = \left(\frac{S_2}{S_1} - 1 \right) \times 100$; avec S_1 la superficie de l'unité d'occupation du sol à l'année 1 et S_2 la superficie de l'unité d'occupation du sol à l'année 2.

Les valeurs négatives de Tv sont associées à une régression des unités d'occupation du sol et les valeurs positives à une progression des unités d'occupation du sol.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 TECHNIQUES DE L'EXPLOITATION AURIFERE DANS LE SECTEUR MINIER D'AOUZEGUEUR

Deux types de techniques d'exploitation de l'or ont été identifiées dans le secteur minier d'Aouzegueur: l'exploitation minière artisanale et l'exploitation minière semi-mécanisée (Fig.2.). L'existence de ces deux types d'exploitation de l'or et leur coexistence a été montrée par [30] à Bétaré-oya au Cameroun, par [27] dans la commune de Kampi au Burkina Faso et par [3] dans le secteur de Souanké au Congo.

L'exploitation minière semi-mécanisée se pratique dans la partie Sud de la zone d'étude où elle coexiste avec des zones d'exploitation minière artisanale et de traitement des haldes et terrils.

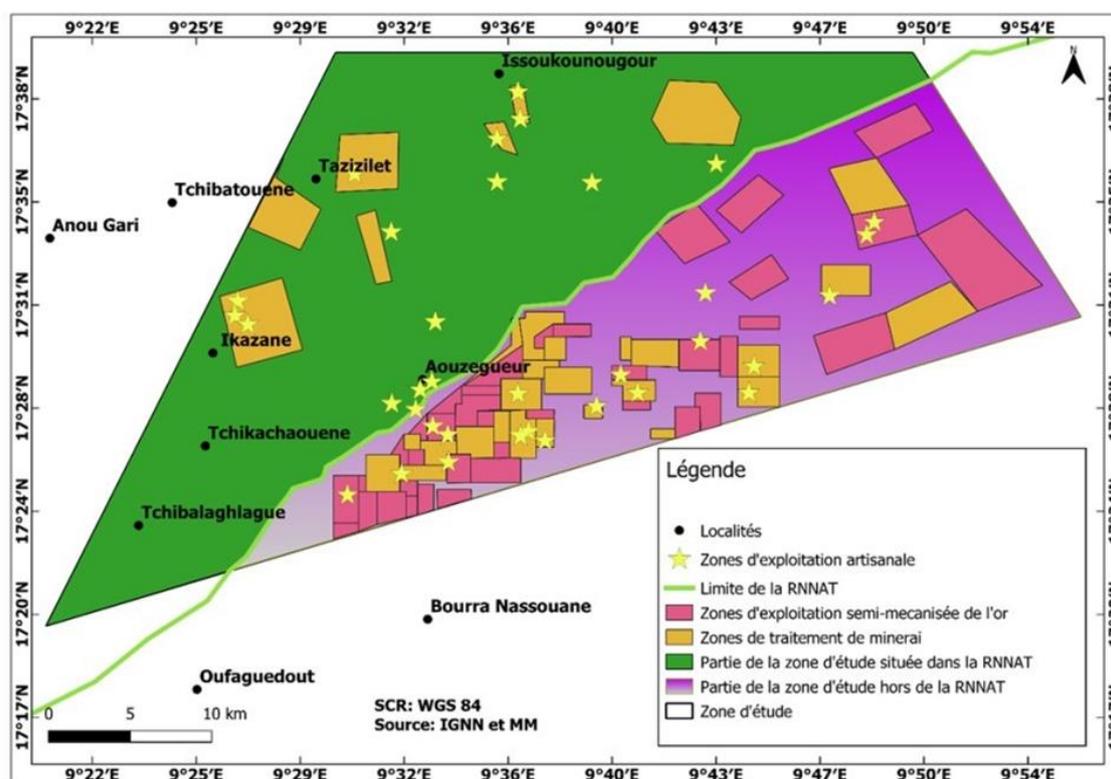


Fig. 2. Zones d'activités aurifères du secteur minier d'Aouzegueur

L'exploitation minière artisanale et le traitement des haldes et terrils se pratiquent aussi dans la partie Nord de la zone d'étude de façon informelle car cette partie de la zone d'étude est située dans la Réserve Naturelle Nationale de l'Air et du Ténére. La pratique d'activités d'exploitation de l'or dans les aires protégées est un phénomène fréquent qui a été mis en évidence dans plusieurs études [31], [32], [33], [34], [35], [36]. Dans une étude menée en Côte d'Ivoire sur le parc national de Taï, [34] ont montré que l'activité d'orpaillage se multiplie à la périphérie et à l'intérieur du parc. Dans ce pays, une autre étude sur le parc national de la Comoe, a mis en évidence que le sabotage et la désorganisation du système de gestion et de surveillance du parc est accentué par plusieurs activités anthropiques parmi lesquelles figure l'orpaillage [31]. Ailleurs, en Afrique centrale, [32] ont montré que les mines artisanales, telles que l'orpaillage ou l'extraction du diamant, sont répandues dans toute la sous-région et pénètrent dans les aires protégées. Dans cette partie d'Afrique, précisément au Cameroun, [36] ont montré que les activités d'orpaillage sont constantes dans le Parc National de Bouba Ndjidda.

3.1.1 EXPLOITATION MINIERE ARTISANALE

L'exploitation minière artisanale s'effectue de deux façons: l'extraction par puits et l'extraction par fouilles superficielles. L'extraction par puits consiste à foncer des puits verticaux disposés suivant la direction du filon. L'exploitation du filon est ensuite réalisée par un

système de galeries latérales rayonnantes, parfois longues de plusieurs mètres. [37] atteste ces faits. Selon cet auteur, les techniques d'extraction artisanale dépendent de la nature du gisement. Ainsi, on distingue les fouilles superficielles dans les éluvions et les alluvions d'une part, et le fonçage de puits verticaux pour accéder aux filons et aux éluvions plus profondes d'autre part. Ces faits sont aussi attestés par [38]. Selon ses travaux sur l'orpaillage au Burkina Faso, les orpailleurs rencontrés dans le département de Gaoua utilisent deux techniques distinctes dont la première consiste à creuser la terre puis à passer avec un détecteur de métaux sur les déblais à la recherche d'or, tandis que la seconde consiste à suivre un filon en creusant des galeries dans le sol jusqu'à 100 mètres parfois.

Les outils utilisés pour l'ouverture et l'abattage sont rudimentaires. Ils comprennent des pioches, des pics, des marteaux, des pelles, des sacs en plastique et des lampes torches. Ce constat est conforté par [39], qui ont montré dans une étude réalisée dans la région de Bounkani en Côte d'Ivoire, que les méthodes et techniques d'exploitation de l'or sont très traditionnelles et que le matériel de fonçage des puits est constitué de pelles, pioches, marteaux, pics, sacs, cordes et machettes. Il est aussi confirmé par [3] et [40] qui ont montré que les techniques d'exploitation et les outils utilisés pendant l'exploitation de l'or sont rudimentaires et manuels sur les sites traditionnels.

L'exploitation par fouille s'effectue à l'aide d'appareils GPX 5000, Gold Fisher et TERRA 705 (détecteurs de métaux) qui peuvent détecter des pépites d'or natif dans le sous-sol jusqu'à des dizaines de centimètres de profondeur. Une fois le signal de détection émis, les orpailleurs creusent pour chercher l'objet d'anomalie. L'usage de détecteurs de métaux dans l'exploitation de l'or au Nord-Niger est évoqué par [41] dans leurs travaux sur le Sahara. Elle est aussi évoquée par [42] dans leur article sur les enjeux de la mutation des techniques artisanales sur la formalisation de l'exploitation de l'or au Burkina Faso. Selon ces auteurs, les détecteurs de métaux sont utilisés depuis 2009 et sont principalement utilisés dans la recherche de pépites d'or alluvionnaires. Ils permettent aussi la découverte de nouveaux sites d'extraction de filons selon les mêmes auteurs. L'utilisation de ces appareils fait partie des innovations apportées aux méthodes artisanales de l'exploitation de l'or [43]. Cette affirmation est confortée par celle de [44] qui, dans une étude réalisée dans le secteur de Dimonika au Congo, ont montré que ces derniers temps on assiste à une ruée vers l'utilisation des outils modernes, notamment les détecteurs de métaux et les broyeurs au niveau des sites d'orpaillage de montagne.

3.1.2 EXPLOITATION MINIÈRE SEMI-MÉCANISÉE

L'exploitation minière semi-mécanisée est pratiquée par des sociétés de droit nigérien sur des périmètres octroyés par arrêté du ministère chargé des mines. Elle commence par l'implantation de puits, de galeries ou de tranchées. Ces ouvrages miniers peuvent aller jusqu'à 10 à 20 mètres de profondeurs. L'extraction se fait en utilisant des outils et des engins mécanisés comme des poulies, des marteaux piqueurs, des pelles mécaniques, des excavateurs, des engins miniers et des explosifs. A ce sujet, la loi n°2022-033 du 5 juillet 2022 portant loi minière du Niger, précise que l'exploitation minière semi-mécanisée utilise des méthodes et quelques moyens mécaniques dans la chaîne de production. [27], en se référant au code minier du Burkina Faso, a souligné la même précision. Aussi, dans une étude sur l'orpaillage dans le désert du Ténéré et le massif de l'Air, [45] ont affirmé que la mécanisation des techniques d'extraction de l'or y semble avancée dans cette zone. Ceci conforte nos observations sur la mécanisation des outils utilisés dans l'exploitation de l'or dans les zones d'exploitation semi-mécanisée du secteur minier d'Aouzegueur.

3.1.3 TRAITEMENT DU MINÉRAI

Les minerais extraits des sites du secteur minier d'Aouzegueur sont transportés par des moto-tricycles et des véhicules (Camions, moto benne, engins miniers et Pick up 4x4) sur 300 m de distance vers les centres de traitement de proximité ou sur des distances de 120 km et 200 km pour être traités dans des centres miniers situés au village de Tabelot ou dans la ville d'Agadez, respectivement. Ce fait est confirmé par [45] qui ont montré que dans le désert du Ténéré et le massif de l'Air le traitement de la roche se fait sur place ou à Tabelot et Agadez par des procédés mécaniques et chimiques.

Le traitement mécanique constitue une phase préparatoire au traitement chimique et consiste au concassage, au broyage et au lavage du minerai. Le concassage s'effectue manuellement à l'aide de marteaux. Il consiste à réduire la taille du minerai en gravillons de 2 à 3 centimètres de diamètre. Le broyage qui intervient après le concassage s'effectue aussi manuellement à l'aide de pilons de barre d'acier dans des anciennes bouteilles de gaz sciées et de façon mécanique à l'aide de broyeurs semi-mécanisés rotatifs, à boulet et au moulin à disque classique (Fig. 3A.). En dernière étape du traitement mécanique intervient le lavage. Il consiste à séparer l'or du minerai broyé et a pour but de concentrer l'or pour qu'il soit plus facilement récupérable. La première étape du lavage consiste à diluer la poudre de minerai avec de l'eau et son coulage sur la rampe (tapis) de lavage appelée « sluice » (Fig.3B.). Ensuite le tapis est retiré pour être lavé dans une bassine d'eau savonnée afin de récupérer la partie fine riche en or déposée par gravité sur le tapis. La poudre de minerai est concentrée à la batée avant de subir un traitement chimique. Le traitement du minerai comprend donc trois étapes successives qui sont: le concassage-broyage, le traitement gravimétrique par lavage et le traitement chimique par amalgamation au mercure ou au cyanure [4].

Le mercure est utilisé pour traiter le concentré issu des sluices. Il est également utilisé dans les cuves de broyage humide à roue (Fig.3C.). Dans les deux cas, les mélanges qui résultent des processus de traitement au mercure (amalgame pour le mélange « concentré-

mercure » et complexe or-mercure pour le cas des cuves à broyage humide) sont brûlés à l'air libre au chalumeau et l'or apparait sous forme de précipité après évaporation du mercure. Dans le cas des cuves de broyage humide à roue, il faut noter que pour un cycle de traitement 20g de mercure sont mélangés à 300 litre d'eau et 6 tonnes de minerai. Quant au cyanure, il permet une récupération de l'or contenu dans les résidus de minerai déjà traité par gravimétrie. Ainsi, la boue qui résulte du processus de lavage au sluice est vendue aux orpailleurs ou aux détenteurs des autorisations de traitement des haldes qui procèdent à la récupération de l'or résiduel par cyanuration (Fig.3D.). Cette dernière s'effectue dans des bassins imperméabilisés dans lesquels 3 litres d'acide cyanurique et une moyenne de 800 litres d'eau sont introduits par cycle de traitement. Dans chaque bassin où le minerai est laissé en imbibition, 100 tubes en U de copeaux de zinc permettant d'absorber l'or sont placés. Le zinc enrichi d'or récupéré du bassin est introduit dans des récipients en aluminium puis traité à l'acide sulfurique ou à l'acide nitrique. L'acide sulfurique est utilisé pour soustraire l'or du zinc et l'acide nitrique pour purifier l'or de l'acide sulfurique et des autres résidus [42]. L'utilisation du mercure dans le traitement artisanal du minerai d'or, est une technique qui est en vogue dans les régions d'Afrique de l'Ouest, d'Afrique Centrale et d'Afrique Australe qui sont réputées pour l'exploitation artisanale de l'or [40]. Quant à la cyanuration, elle est la technique la plus utilisée dans l'industrie aurifère à travers le monde [46] du fait de son taux de récupération d'or plus élevés que celui de l'amalgamation au mercure [47]. Selon [43], le recourt à ces produits chimiques rentre dans le cadre du perfectionnement des techniques de traitement du minerai.

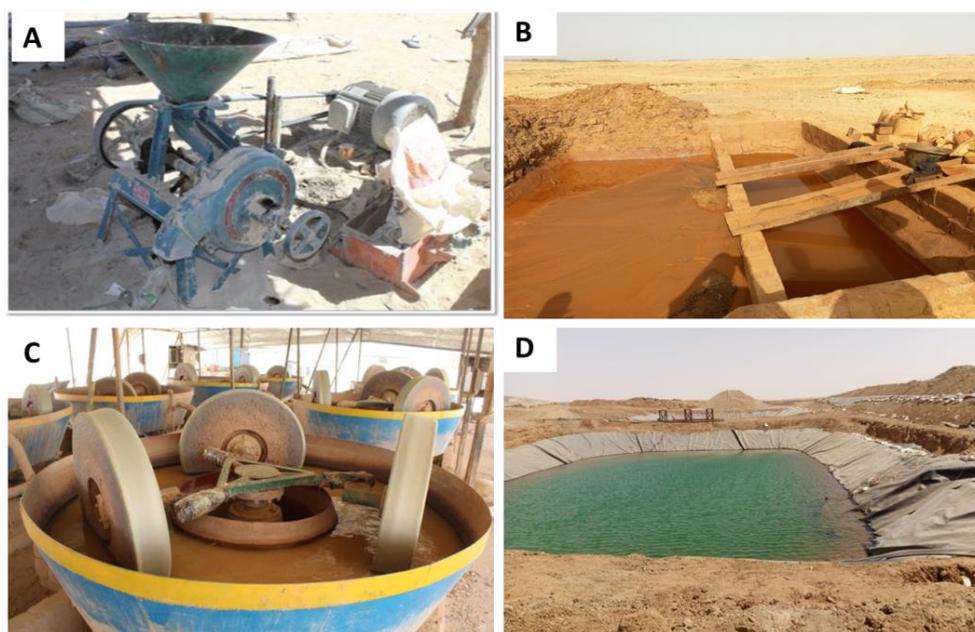


Fig. 3. (A) Moulin à disque classique (Farin Douchi) basin [19], (B) Atelier de traitement de minerai par sluice (traitement gravimétrique), (C) Broyeur chilien (broyeur humide) à trois roues [19], (D) Bassin de cyanuration

3.2 DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL DU SECTEUR MINIER D'AOUZEGUEUR

Les cartes d'occupation du sol (Fig.4. et Fig.5.) montrent que l'exploitation aurifère dans le secteur minier d'Aouzegueur a provoqué une dégradation importante du couvert végétal. Ainsi, de 2000 à 2022 la superficie de la végétation est passée de 1857,93 ha à 1373,40 ha; soit une régression de 26,08% (484,53 ha). Il en est de même pour les superficies des collines et des terrains rocaillés qui sont respectivement passées de 8342,93 ha à 703,90 ha et 1196,04 ha à 1076 ha; soit des régressions respectives de 91,56% et 10,03% de leurs superficies. Contrairement aux superficies de ces unités, celle des dunes de sable a considérablement augmenté en passant de 928,08 ha en 2000 à 19373,60 ha en 2022; soit une progression de 1984,5% (1844, 552 ha). La disparition du couvert végétal au profit des sols nus, est un phénomène qui a aussi été observé à l'Ouest du Niger sur les sites d'orpaillage de Kossa, Manda et Taswada [48], de M'Banga [49] et de Komabangou [50]. Dans le Ténéré du Taffassaset, notamment à Aouzegueur et au Djado, la destruction du couvert végétal est très remarquable sur les sites d'orpaillage [19], [45], [51]. D'autre part, une étude diachronique de la végétation de la commune de Kampti au Burkina Faso a montré une dégradation de la savane arbustive et une augmentation des sols nus [27]. Dans les sites d'orpaillage des aires Protégées du Département de Mayo-Rey, [28], ont révélé que la végétation a subi une évolution régressive à cause d'un certain nombre de phénomènes anthropiques et en particulier celui de l'orpaillage. Dans une étude sur l'impact de l'orpaillage dans l'Est de la préfecture de Tchaoudjo au Togo, [52] a montré que la plupart des zones d'exploitation de l'or se caractérisent par une disparition presque totale de la végétation.

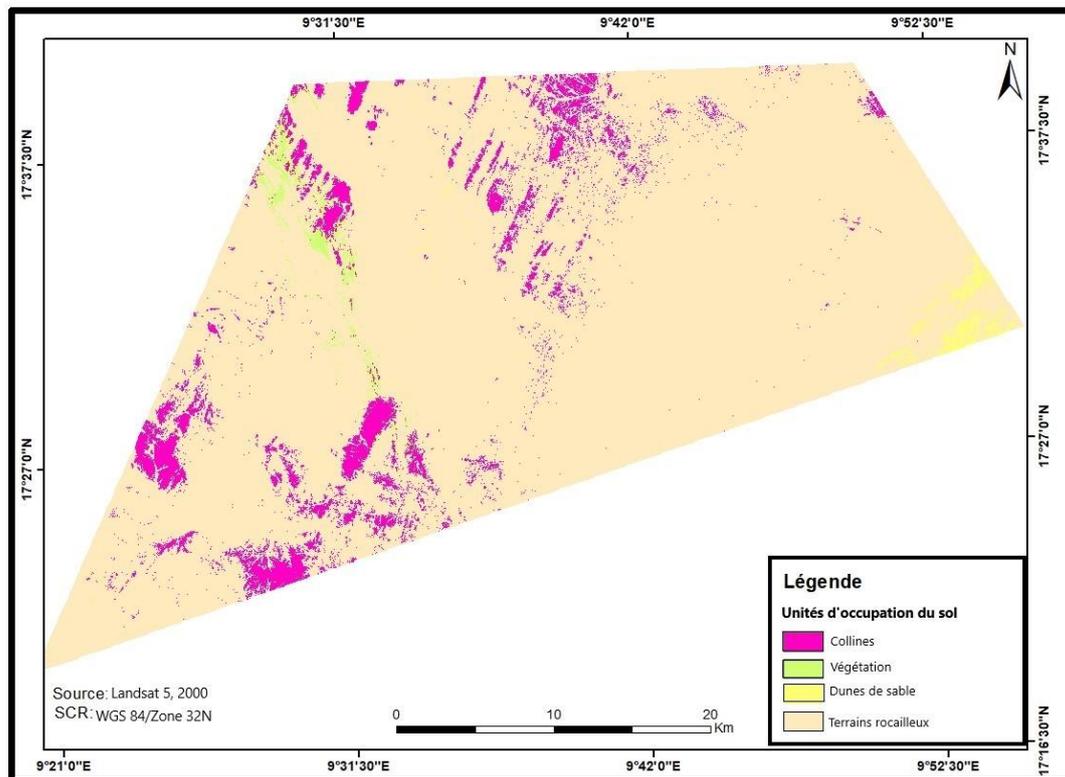


Fig. 4. Carte d'occupation du sol du secteur minier d'Aouzegueur de 2000

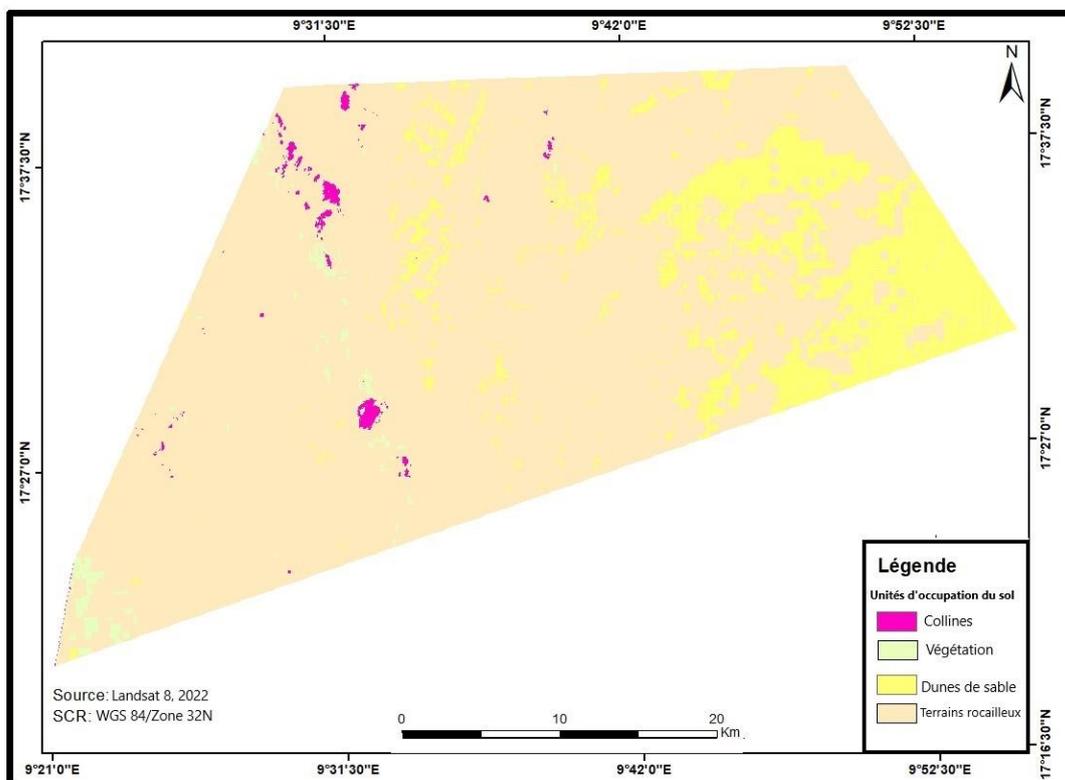


Fig. 5. Carte d'occupation du sol du secteur minier d'Aouzegueur de 2022

3.3 PERCEPTION DE LA POPULATION RIVERAINE DES ACTIVITES MINIERES SOURCES D'IMPACTS SUR LES COMPOSANTES BIOPHYSIQUES DE L'ENVIRONNEMENT

La population riveraine du secteur minier d'Aouzegueur a affirmé que les activités de l'exploitation de l'or dans le secteur minier d'Aouzegueur ont un impact plus ou moins significatif sur les composantes biophysiques de l'environnement. Ainsi, 90% des enquêtés estiment que le traitement du minerai et les besoins quotidiens des exploitants miniers impactent considérablement la ressource en eau souterraine. Cette dernière est donc considérée par la population comme étant la composante de l'environnement la plus impactée par les activités minières. Le déblayage des zones sujettes à l'exploitation, le soutènement des galeries, le traitement de minerai, le déboisement pour la construction des habitations et des lieux de commerce ont été cités par 70% des enquêtés parmi les activités minières qui ont un impact significatif sur la végétation. L'impact des activités minières sur le sol a été attribué par 60% des enquêtés à la modification du relief à travers le creusement de puits et de galeries, les masses des terres déplacées, le déversement de produits chimiques et les déchets industriels et ménagers abandonnés sur le sol. Quant à l'impact des activités minières sur l'air, il a été attribué par 45% des enquêtés au transport du minerai par des véhicules, au concassage du minerai par les engins et à l'utilisation d'explosifs dans l'exploitation qui provoquent le soulèvement de poussières qui altèrent la qualité de l'air ambiant. La zone d'étude abrite des populations considérables d'espèces fauniques dont certaines ont disparu compte tenu de la dégradation de la végétation, des bruits générés par les véhicules et autres engins, ainsi que l'utilisation d'explosifs dans l'exploitation de l'or selon 65% des enquêtés. Cette disparition d'espèces fauniques est illustrée par la rareté de certains animaux qui est perçue par la majorité des personnes enquêtées ces 10 dernières années. Il s'agit de *Felis margarita* (Chat des sables), *Canis aureus* (Chacal), *Addax nasomaculatus* (antilope à nez tacheté), *Lepus* (Lièvre), *Ovis dalli* (Mouflon de dall), *Neotis nuba* (Outarde nubienne) et *Gazelle leptocère* (Gazelle de Rhim, gazelle des sables ou gazelle à cornes fines).

3.4 IMPACTS DES ACTIVITES MINIERES SUR LES COMPOSANTES BIOPHYSIQUES DE L'ENVIRONNEMENT

Les activités minières du secteur minier d'Aouzegueur ont des impacts plus ou moins considérables sur les composantes biophysiques du secteur minier d'Aouzegueur, notamment sur l'eau, le sol, la flore, l'air et la faune.

3.4.1 IMPACTS SUR LES RESSOURCES EN EAU

L'approvisionnement en eau du secteur minier d'Aouzegueur est assuré par 15 forages (Fig.6.) réalisés par les exploitants miniers sur les sites et ceux du village de Tabelot situé à 80 Km d'Aouzegueur et où une dizaine de citernes, de camions et des pick-up prennent de l'eau pour approvisionner les exploitants miniers.

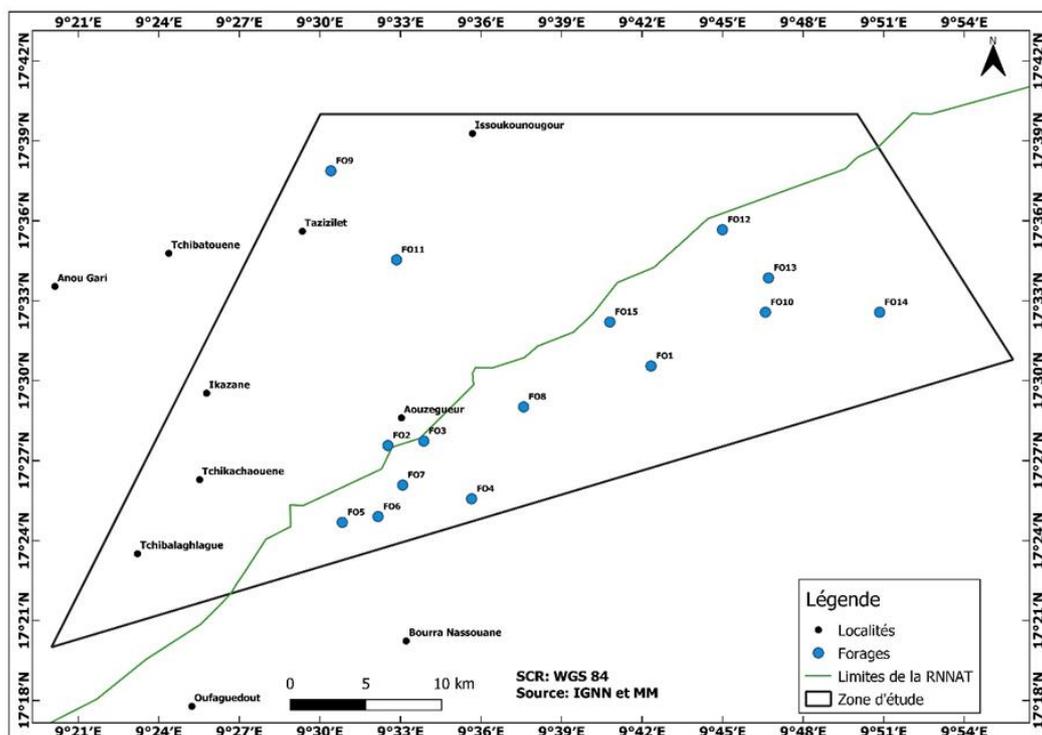


Fig. 6. Répartition des forages dans le secteur minier d'Aouzegueur

L'eau joue un rôle capital dans l'orpaillage car elle intervient dans presque toutes les étapes de l'exploitation [3]. Cependant, les activités lors des étapes de lavage et d'extraction de l'or par le mercure sont les plus consommatrices d'eaux [39]. Sur les sites du secteur minier d'Aouzegueur le traitement du minerai au mercure est associé au broyage humide. Pour ce type de traitement, 18 sites ont été répertoriés. Le nombre des broyeurs humides pour l'ensemble de ces sites est estimé à 480. Chaque broyeur a une capacité de traitement de 6 tonnes de minerai et chaque tonne de minerai nécessite 50 litres d'eau et 20g de mercure pour son traitement. La consommation journalière d'eau pour ce type de traitement avec 3 cycles de traitement par broyeur peut alors être estimée à 432 000 litres d'eau. Le tableau 1 ci-dessous présente les quantités moyennes journalières de mercure utilisées au niveau des sites de traitement de minerai impliquant les broyeurs humides.

Tableau 1. *Quantités moyennes journalières de mercure utilisées au niveau du centre de traitement de minerai (broyeurs par voie humide)*

Nombre de sites	Nombre de broyeurs	Quantité mercure(g)/cycle	Nombre de cycles par broyeur/jour	Quantité totale de mercure (g)
18	480	9600	3	28 800

Pour le lavage (traitement gravimétrique) du minerai impliquant le sluice, 10 sites ont été identifiés. Chaque site a une capacité de traitement d'un minimum de 2 tas de minerai par jour et chaque tas de minerai nécessite 200 litres d'eau pour son traitement. La consommation journalière d'eau pour les 10 sites pourrait donc être estimée à plus de 4000 litres. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par [39] dans le cadre d'une étude portant sur les impacts sociaux et environnementaux de l'orpaillage sur les populations de la région du Bounkani en république de Côte d'Ivoire. Ces derniers ont montré qu'il faut environ 200 litres d'eau pour le lavage d'un sac de 50kg de « farine » de minerai lors de l'extraction de l'or. Les boues résultant du traitement gravimétrique du minerai sont vendues aux orpailleurs et aux sociétés de traitement des haldes qui procèdent à l'extraction de l'or résiduel par cyanuration dans des bassins. Quinze (15) sites de cyanuration ont été identifiés dans le secteur minier d'Aouzegueur et chaque site compte environ 100 bassins dont le remplissage de chacun nécessite 800 litres d'eau. La consommation d'eau par site peut alors être estimée à 80000 litres d'eau par jour. Avec les 15 sites de cyanuration dont dispose le site, la consommation d'eau journalière pour ce type de traitement peut être estimée à 1 200 000 litres d'eau. Le traitement au cyanure est associé à l'usage de zinc, d'acide sulfurique et d'acide nitrique.

Souvent, certains puits d'extraction de l'or atteignent la nappe phréatique. Quatre (4) cas de puits foncés sur un filon de quartz et qui ont atteint l'aquifère à 50 m de profondeur ont été identifiés dans le secteur minier d'Aouzegueur. Selon les puits, l'eau percole par les parois ou jaillit à travers des veines plus ou moins importantes, et la remontée des eaux empêche l'exploitation. Pour pouvoir continuer à exploiter les puits, les mineurs doivent pomper des milliers de mètres cubes d'eaux au quotidien à l'aide de motopompes [42]. Ceci contribue à diminuer le niveau de la nappe d'eau souterraine [39].

Les eaux et les résidus de traitement de minerai contenant des quantités importantes des produits chimiques utilisés (mercure, cyanure, acide nitrique, acide sulfurique) sont directement versées sur le sol. Elles peuvent donc s'infiltrer et contaminer les nappes phréatiques [12], [38], [43], [53], [54] ou entraîner par les eaux de ruissellement (bien que rares selon 30% des enquêtés compte tenu de l'aridité du climat) dans les koris dont certains sont très proches des zones de traitement (Fig.7.).

La minéralisation aurifère d'Aouzegueur est liée au filon de quartz, mais on note la présence de la pyrite (FeS₂), du cuivre (Cu), de la chalcopryrite (CuFeS₂), de la galène (PbS) et de la muscovite [KAl₂(OH, F)₂AlSi₃O₁₀]. Dans tous les types de traitement l'or est le seul minéral qui est récupéré et les autres minéraux connexes restent dans les rejets. Il se forme alors de l'acide sulfurique lorsque des minéraux contenant du soufre sous forme réduite (sulfures), s'oxydent au contact de l'eau et de l'oxygène [11]. Cette acidification va de pair avec la solubilisation des métaux présents. La production d'acide peut générer des écoulements continus chargés de métaux qui se déversent depuis les sites d'origine vers le réseau hydrographique le plus proche, ou atteignent l'aquifère [53]. A ces types de pollutions des eaux s'ajoute celle de déchets solides, notamment le lessivage des déchets solides en surface et des piles usagées abandonnées à l'intérieur des puits par les exploitants miniers [39].

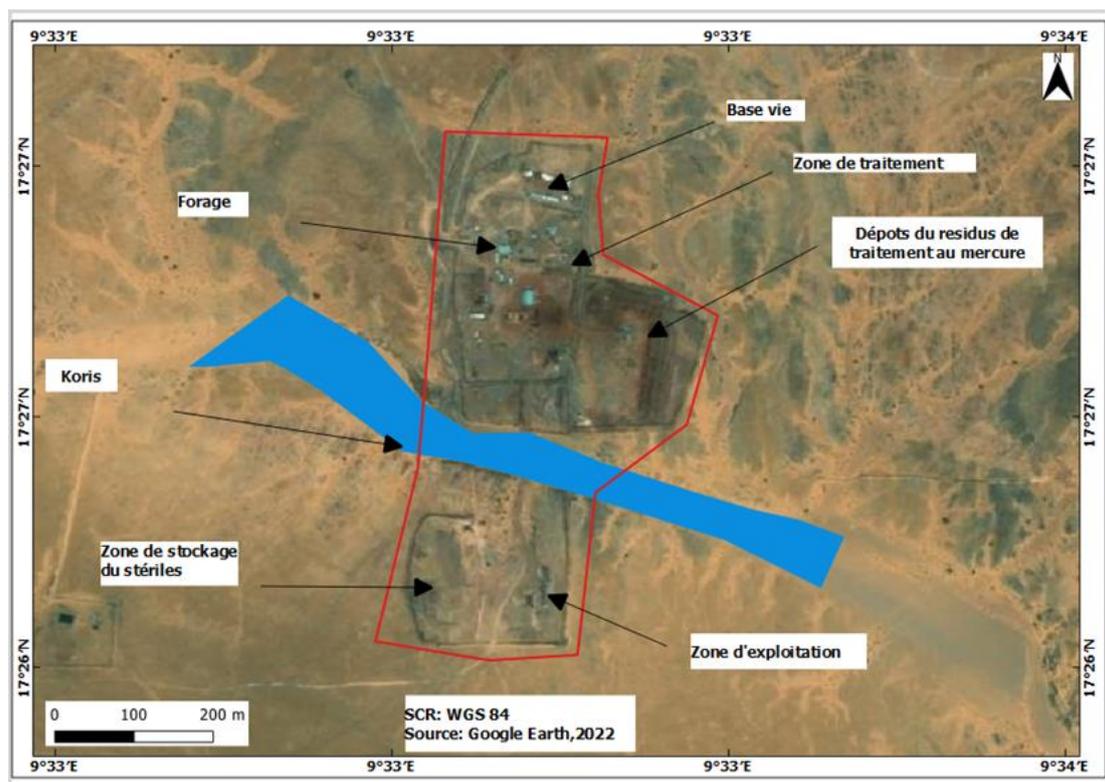


Fig. 7. Stockage de résidus de traitement de minerai au mercure à environs 100 m d'un koris

3.4.2 IMPACTS SUR LE SOL

L'installation des exploitants miniers nécessite le défrichage, donc la coupe de bois pour la construction de maisons ou de hangars de fortune à usage d'habitation ou commercial [39]. Cette destruction du couvert végétal prédispose le sol à des processus d'érosion (éolienne et hydriques) souvent intenses [55] provoquant le ravinement du sol qui est une préoccupation majeure sur les sites miniers [56]. La dégradation du sol est accentuée par l'excavation de grandes surfaces de terre et la présence de puits et tranchés abandonnés sans réhabilitation [57], [58]. Dans le secteur minier d'Aouzegueur, l'impact le plus visible est la modification du paysage caractérisé par une multitude de puits et de tas de déblais de plus de cinq mètres de hauteur dans un désordre total (Fig.8.).

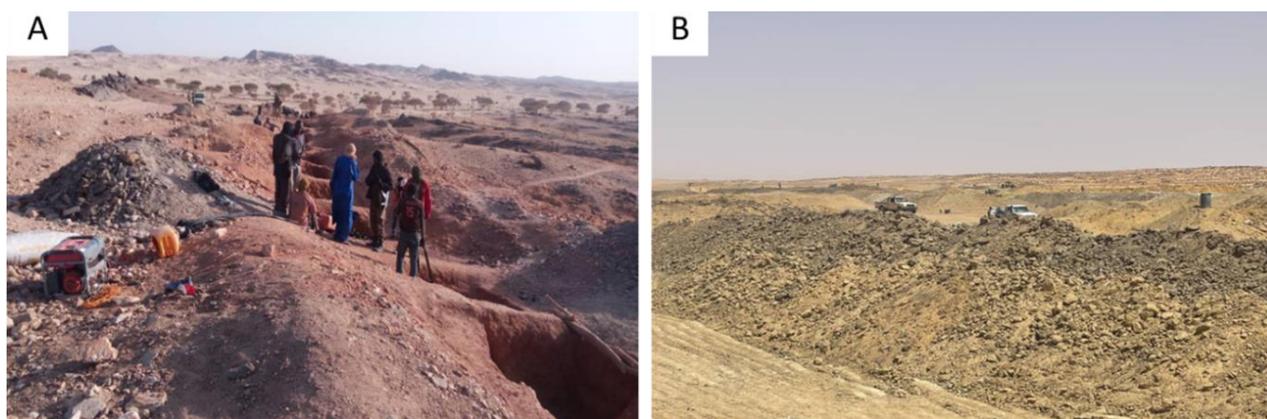


Fig. 8. Puits (A) et tas de déblais (B) modifiant le paysage de la zone d'étude

Dans une étude sur l'aliénation des enfants et la dégradation des sols par l'orpaillage dans la localité de Bantaco au Sud-Est du Sénégal, [1], ont montré que l'absence de réhabilitation des sites, le remblayage des mines artisanales en particulier, contribue à la dégradation des sols et à la défiguration du paysage naturel des villages aurifères. Dans le même ordre d'idées, [38] a montré que les sols, quand ils ne sont pas directement touchés par l'exploitation minière, sont pollués durablement par le rejet de substances toxiques comme le mercure ou le cyanure.

3.4.3 IMPACTS SUR LA VEGETATION

L'exploitation de l'or, qu'elle soit artisanale ou non, se fait au détriment de la végétation sur les sites miniers [12], [59]. L'impact sur la végétation des activités minières du secteur minier d'Aouzegueur est surtout lié à la construction de hangars, au soutènement des puits et galeries, à la fixation de déblais, à l'aménagement des sites pour la mise en place des puits et aux besoins en bois de chauffe de la population et des exploitants miniers (Fig.9.). L'impact de ces activités sur la végétation se traduit par une régression importante de la superficie du couvert végétal corroborée par les résultats obtenus à travers la caractérisation de la dynamique de l'occupation du sol et la perception de la population riveraine. L'implication de la construction d'habitats en hangars et du soutènement des puits et galeries dans la disparition du couvert végétal a été démontrée sur plusieurs sites de l'Ouest du Niger [48], [49], [60]. En 2022 le nombre des hangars du secteur minier d'Aouzegueur a été estimé à 1600 [7]. Or, la construction d'un abri de 9m² nécessite en moyenne 8 troncs d'arbres d'environ 2 m de hauteur et 5 à 15 cm de diamètre [5]. En adoptant ces résultats au secteur minier d'Aouzegueur, le nombre de troncs d'arbres utilisés dans la construction des hangars en 2022 peut être estimé à plus de 12800 troncs d'arbres. Pour le soutènement, il faut en moyenne une vingtaine de bois pour un puit d'un mètre de profondeur [12]. Dans le secteur minier d'Aouzegueur le nombre de puits a été estimé à 7609 dont, 2842 en activité et 4767 abandonnés [26], le nombre de bois utilisé pour leur soutènement peut alors être très considérable.



Fig. 9. Destruction de la végétation par les activités aurifères: construction de hangars (A), bois de consommation, mise en place des puits (C) [19], fixation de déblais (D) [19]

3.4.4 IMPACTS SUR L'AIR

L'impact sur l'air des activités minières dans le secteur minier d'Aouzegueur est surtout lié au soulèvement de poussières, à l'évaporation de produits chimiques et aux gaz d'échappement des engins miniers qui altèrent la qualité de l'air ambiant. Le soulèvement de poussière est provoqué par les explosifs utilisés pour l'abatage du minerai, les engins utilisés dans le cadre de la foration des puits et galeries, les opérations de concassage et de broyage de minerai, le chargement du minerai et du tout-venant, le chargement des bassins de cyanuration et la circulation des gros engins (Fig.10.). Ces constats confirment ceux de [11], de [39] et de [61] qui ont montré que les activités d'exploitation de l'or, notamment l'orpaillage provoquent la pollution de l'air.



Fig. 10. Emission de poussière lors du concassage du minerai (A) et du chargement du bassin de cyanuration (B) [19]

L'évaporation de produits chimiques se produit lors du brulage du complexe or-mercure et à partir des eaux cyanurées des bassins de cyanuration et des stocks des résidus de traitement chimique de minerai [51]. Sur les sites miniers du secteur minier d'Aouzegueur, cet impact est constaté par la sensation d'odeur nauséabonde et de brûlures de la peau à l'approche des bassins de cyanuration. Le dégagement d'odeur nauséabonde se produit aussi au niveau des ateliers mécaniques à travers les huiles et les graisses.

3.4.5 IMPACTS SUR LA FAUNE

L'essentiel de la faune de la zone d'étude se trouve dans la Réserve Naturelle Nationale de l'Aïr et du Ténéré sur laquelle s'étendent les activités minières. Cette extension des activités aurifères dans la réserve n'est pas sans conséquences sur la faune qu'elle abrite. En effet, toutes les activités de l'exploitation minière du secteur d'Aouzegueur ont plus ou moins d'impacts sur la faune. Ces impacts sont surtout liés à la présence humaine et à la déforestation et se traduisent par une migration de certaines espèces. Ces résultats confirment ceux de [3] et de [39]. Les premiers ont montré que les activités d'orpaillage sur les sites de Lomidouo et Kintan ont contribué à la perte des espèces fauniques à cause de la déforestation, tandis que les seconds ont montré que les activités de l'orpaillage semi-industriel dans le secteur de Souanké en République du Congo perturbent le milieu faunique car on assiste à la perte de la biodiversité et à l'éloignement des animaux. En effet, la perte d'habitat naturel de la faune consécutivement à la déforestation est l'un des impacts majeurs des projets miniers sur la biodiversité [62]. Elle provoque la migration des espèces mobiles de la faune, comme le gibier, les oiseaux et les prédateurs vers des zones où les conditions sont favorables à leur survie et à leur développement [62]. De ces faits, la production sonore et les vibrations ainsi que la luminosité et la présence de personnes peuvent arrêter les communications, les mouvements et les attitudes ou habitudes alimentaires et reproductifs des animaux [63], [64]. L'effet le plus direct sur la faune est la destruction ou le déplacement des espèces dans les zones de cavité et d'entassement des dépôts des résidus miniers [62]. Cette affirmation est renforcée par celle de [1] qui soutiennent que l'absence de réhabilitation des mines artisanales est une cause d'accidents pour les animaux, domestiques et sauvages, en pâturage ou en errance, qui se retrouvent pris au piège dans les mines abandonnées ou en activité. Par ailleurs, les produits chimiques utilisés dans l'extraction de l'or notamment le rejet de cyanure dans la nature, la dissémination de mercure venant des mines artisanales, ou encore la pollution atmosphérique, présentent des dangers pour l'environnement et les espèces vivantes dont l'homme [42], [62].

4 CONCLUSION

L'exploitation aurifère dans le secteur minier d'Aouzegueur s'effectue de façon artisanale et semi-mécanisée. Ces techniques impliquent l'usage d'outils, de produits chimiques et de procédés par les artisans miniers, qui impactent considérablement l'environnement, notamment les ressources en eaux, le sol, la faune, la flore et l'air. Les impacts de l'exploitation aurifère sur ces composantes biophysiques de l'environnement découlent de toutes les étapes de cette activité. Sur les ressources en eaux les impacts comprennent la consommation excessive des eaux souterraines lors des étapes du traitement du minerai et leur pollution par l'infiltration des produits chimiques utilisés. Sur le couvert végétal ils comprennent la destruction du couvert végétation lors de l'aménagement des sites, les besoins en soutènement des puits et galeries, la fixation des déblais, la construction de hangars et la satisfaction des besoins en bois de chauffe. Le sol, lui est impacté par son exposition aux agents des érosions hydrique et éolienne suite à la dégradation du couvert végétal, par la modification du paysage avec la disposition de puits et de tas de déblais, l'abandon de puits sans réhabilitation ainsi que sa pollution par les produits chimiques. Quant à l'impact des activités d'extraction de l'or sur la faune, il est surtout lié à une disparition des animaux dans le secteur suite à la destruction de leur habitat consécutivement à la dégradation du couvert végétal et à la production sonore, les vibrations ainsi que la présence humaine qui peuvent arrêter les communications, les mouvements et les attitudes ou habitudes alimentaires et reproductifs des animaux. En fin, sur l'air les impacts des activités d'extraction

de l'or sont provoqués par l'évaporation de produits chimiques, par le soulèvement de poussières et les gaz d'échappement des engins miniers.

Pour réduire les impacts des activités d'extraction de l'or dans le secteur minier d'Aouzegueur, des mesures idoines de protection de l'environnement doivent être prises par les administrations en charge des mines et de l'environnement. Ces mesures doivent comprendre, entre autres, des séances de sensibilisations des acteurs miniers sur la nécessité de participer à la protection de l'environnement; l'exigence d'une étude d'impact environnemental et social détaillée pour toute autorisation d'exploitation minière semi-mécanisée et de traitement des haldes, terrils et résidus des mines; la mise en place d'un dispositif efficace pour la mise en œuvre et le suivi d'un plan de gestion environnementale et sociale par les détenteurs des autorisations d'exploitations minières; la promotion de bonnes pratiques et le suivi de leur mise en œuvre à travers un système de management environnemental global des sites miniers, ainsi que l'élaboration d'un guide sur les techniques de dépollution des sols contaminés par des produits chimiques.

REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent leurs remerciements à M. Ange Michel pour son assistance pendant la mission terrain à Aouzegueur et surtout pour la mise à leur disposition d'un moyen de déplacement.

REFERENCES

- [1] Séne A. et Faye B. E. H., 2023, «l'Afrique face aux défis de l'exploitation des ressources naturelles: de l'aliénation des enfants à la dégradation des sols par l'orpaillage dans la localité de Bantaco au Sud-est du Sénégal», collection recherches & regards d'Afrique vol 2 n 05, 11-30 pp.
- [2] Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, Metals and Sustainable Development (IGF), 2018, Global Trends in Artisanal and Small-Scale Mining (ASM): A review of key numbers and issues. Winnipeg: IISD, 81 pp.
- [3] Watha-Ndoudy N., Dipakama C.M., Nzila J.D., Nguelet-Moukaha I. et Kimpouni V., 2022, «Impact de L'orpaillage sur le Milieu Physique des Ecosystèmes Forestiers du Secteur de Souanké, République du Congo», ESI Preprints, 60-85 pp.
- [4] Tychsen J. et Charles N. (Eds), 2019, La mine artisanale en Afrique de l'Ouest francophone. Éditions GEUS (Danemark) et BRGM Éditions (France), 300 pp.
- [5] Mama A., Alassane A., Traore F. M., Sinsin A. B. et Bogaert J., 2020, «Fragmentation du paysage naturel au Mali: Cas des sites d'orpaillage de la préfecture de Kangaba», Environnement et Dynamique des Sociétés n° 002, 9-26 pp.
- [6] Ministère de l'Environnement, de la Lutte Contre la Désertification (MELCD), 2020, Plan d'action National pour l'extraction artisanale et à petite échelle de l'or au Niger, conformément à la convention de Minamata sur le mercure 2021-2025, 172 pp.
- [7] Ministère des Mines, 2022, Rapport annuel de la Direction des Mines et des Carrières, 17pp.
- [8] Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, Metals and Sustainable Development (IGF), 2017, Global Trends in Artisanal and Small-Scale Mining (ASM): A review of key numbers and issues. Winnipeg: IISD.
- [9] Ministère des Mines, 2021, Rapport annuel de la Direction des Mines et des Carrières, 15 pp.
- [10] Banque Mondiale, 2008, Rapport sur l'inventaire des sources de rejet du mercure au Niger, 48 pp.
- [11] Bamba O., Péléédé S., Sako A., Kagambega N. et Miningou M. Y. W., 2013, «Impact de l'artisanat minier sur les sols d'un environnement agricole aménagé au Burkina Faso», Journal des Sciences, 13 (1), 1-11 pp.
- [12] Hue B. F. F., Kambire B. et Alla D., 2020, «Mutations environnementales liées à l'orpaillage à Ity (Ouest de la Côte d'Ivoire) » Annales de l'Université de Moundou, Série A-FLASH, 7 (2), 133-151 pp.
- [13] Union International pour la Conservation de la Nature (UICN), 2010, Evaluation de l'efficacité de la gestion des aires protégées, 78 pp.
- [14] IUCN World Heritage Outlook, 2020, Réserves naturelles de l'Aïr et du Ténéré - 2020 Conservation Outlook Assessment, 14 pp. <https://worldheritageoutlook.iucn.org>
- [15] Abdou Y., 2004, Etude de l'aménagement des vallées de Tabelot et Afassas, Mémoire d'ingénieur, groupe des écoles EIER – ETSHER, 175 pp.
- [16] Direction départementale d'agriculture de Tchirozérine, 2021, Rapport annuel. Ministère de l'Agriculture, 20 pp.
- [17] Alain M., 1985, Les hauts massifs de l'Aïr et leurs piémonts (Niger): étude géomorphologique, Thèse en géographie, Université de Lille, 386 pp.
- [18] Boullier A.M., Robert F. and Firdaous K., 1995, Gold-quartz veins in metamorphic terranes and their bearing on the role of fluids in faulting, 12861-12879 pp.
- [19] CRGM, MM., 2018, Inventaire des sites d'orpaillages du Djado, Tafassasset et de l'Aïr au Niger, 2018, 40p.
- [20] Joseph A., 1992, "L'Aïr « château d'eau » de la bande désertique du Ténéré (Niger) " Revue de géographie alpine, tome 79 n°1, 71-86 pp.
- [21] Armand C. et Dehays H., 1987, Reconnaissance géophysique par prospection électrique dans six vallées de l'Aïr. B.R.G.M. Ministère de l'Hydraulique et de l'Environnement du Niger, 50 pp.

- [22] Joseph A. et Diluca C., 1986, Les barrages souterrains en zone sahélienne, présentation d'un projet d'aménagement de barrage souterrain dans l'Air, Niger, Bull. Liaison, C.I.E.H., n°66, Ouagadougou, Burkina-Faso, 27-36pp.
- [23] Joseph A., 1991, "L'Air, « château d'eau » de la bande désertique des Ténérés (Niger)", In: Revue de géographie alpine, tome 79, n°1, 71-86 pp.
- [24] Illias A., 2018, Evaluation des ressources en eaux souterraines du bassin de Timia (massif de l'Air, Nord du Niger): impacts de la variabilité climatique et des activités anthropiques, Thèse de Doctorat, Université Abdou Moumouni, 198 pp.
- [25] Direction de la Faune, de la Chasse et des Aires Protégées, 2016, Rapport annuel. Ministère de l'Environnement, de la Salubrité Urbaine et du Développement Durable, 24 pp.
- [26] Ministère des Mines, 2018, Politique Minière Nationale 2020-2035, 47 pp.
- [27] 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, Géographie, Université Panthéon-Sorbonne- Paris I; Université Joseph Ki-Zerbo (Ouagadougou, Burkina Faso), 341 pp.
- [28] Oumar Mahamat O., Tchob sala, Megueni C., Bello M., Sali B. et Pa ai V. N., 2022, "Evolution Du Couvert Vegetal Dans Les Sites D'orpaillage Des Aires Protegees Du Departement De Mayo-Rey", International Multilingual Journal of Science and Technology (IMJST), 7 (8), 5275-5293 pp.
- [29] Ahononga F.C., Gouwakinnou G.N., Biauou S.S.H. et Biauou S., 2020, "Vulnérabilité des terres des écosystèmes du domaine soudanien au Bénin de 1995 à 2015", Bois et Forêts des Tropiques, 346, 35-50 pp.
- [30] Voundi E., Mbevo Fendoung P. et Essigüe Emissi P., 2019, "Analyse des mutations socio-environnementales induites par l'exploitation minière à Bétaré-Oya, Est-Cameroun", *VertigO*, 19 (1) 1-30 pp.
- [31] Yéo Z. S., Sangne Y. C., Barima Y. S. S., Bamba I. et Kouakou K. A., 2017, "Diversité floristique et structure des fragments forestiers du sud-ouest du Parc National de la Comoe apres les conflits des années 2000 en Côte d'Ivoire" European Scientific Journal, 13 (2), 421-439 pp.
- [32] Tchoumba G. B., Tibaldeschi P., Izquierdo P., Nsom Zamo A-C., Bigombe Logo P. et Doumenge C., 2020, Industries extractives et aires protégées en Afrique centrale: Pour le meilleur et pour le pire ? 60 pp.
- [33] Ousmane S., N'da Dibi H., Kouassi K. H., Kouassi K. E. et Ouattara K., 2020, "Crises politico-militaires et dynamique de la végétation du Parc national du Mont Péko en Côte d'Ivoire", Bois et Forêts des Tropiques, volume 343, 27-37 pp.
- [34] Yéo N.E., Soro K., Ouattara K., Gauze Touao Kah M., Dossou B. et Kone I., 2020, "Zonage des réserves de biosphère: une approche intégrée et dynamique pour la conservation durable du parc national de Taï, Cote d'Ivoire", Journal of Applied Biosciences 147, 15159 – 15169 pp.
- [35] Alim B. Y. et Djibrilla I., 2023, Les aires protégées et l'insécurité transfrontalière dans les régions septentrionales au Cameroun. In K. G. Agbefle, & K. M. Vahou (Eds.), *Collection THESE/SYNTHESE, 3 (8), Tome 1: Langues, Lettres, Littératures, Education* (pp. 11-26). Lomé, Togo: Editions Francophones Universitaires d'Afrique - EFUA Editions.
- [36] Oumar A. S., Ibrahim M., Mohamadou, Rahamanou A., 2024, "Analyse Des Mesures De Lutte Anti Braconnage Post-Massacre des éléphants au Parc National de Bouba Ndjidda (Cameroun) " International Multilingual Journal of Science and Technology (IMJST), 9 (2), 7054-7063 pp.
- [37] Maman Illatou O. E. F., 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, Ingénierie de l'environnement. IMT - MINES ALES - IMT - Mines Alès Ecole Mines - Télécom; Université Abdou Moumouni, Français. NNT: 2021EMAL0014. tel-03624770, 218 pp.
- [38] Bohbot J., 2017, "L'orpaillage au Burkina Faso: Une aubaine économique pour les populations, aux conséquences sociales et environnementales mal maîtrisées", *EchoGéo*, 42, 1-19 pp.
- [39] Affessi A. S., Koffi K. G. J-C. et Sangaré M., 2016, "Impacts Sociaux et Environnementaux de l'orpaillage sur les populations de la région du Bounkani (Cote d'Ivoire)" European Scientific Journal, ESJ, 12 (26), 288-306 pp.
- [40] Joseph C. B., Célestin T. A. et Paul L. N. J., 2022, "Paradoxe entre l'interdiction et l'utilisation du mercure dans l'exploitation minière artisanale en république démocratique du Congo", Journal of Advance Research in Social Science & Humanities, 8 (4), 7-15 pp.
- [41] Afane A. et 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*, 20 (3), 1-27 pp.
- [42] Sawadogo E. et Evariste Constant Dat D., 2021, "Enjeux de la mutation des techniques artisanales sur la formalisation de l'exploitation de l'or au Burkina Faso", *EchoGéo*, 58, 1-22 pp.
- [43] Chevrillon-Guibert R., Gagnol L. et Magrin G., 2019, "Les ruées vers l'or au Sahara et au Nord du Sahel. Ferment de Crise ou stabilisateur ? " *Hérodote*, 1 (172), 193-2013 pp.
- [44] Dipakama C.M., Watha-Ndoudy N., Nzila J.D., Moukaha I.N. et Kimpouni V., 2024, "Impact de l'exploitation artisanale de l'or sur l'environnement dans le secteur de Dimonika (Massif forestier de Mayombe, Congo)", *ESI Preprints*, 234-273 pp.
- [45] Gregoire E. et Gagnol L. (2017). Ruées vers l'or au Sahara: l'orpaillage dans le désert du Ténéré et le massif de l'Air (Niger). *EchoGéo* sur le vif, DOI: 10.4000/echogeo, 14933, ISSN: 1963-1197, 22pp.
- [46] Moisan M. et Blanchard F., 2012, Utilisation de la cyanuration dans l'industrie aurifère en Guyane. Impacts potentiels sur l'environnement et recommandations. Rapport final BRGM/RP-61968-FR, 120 pages.

- [47] Verbrugge B., Lanzano C. et Libassi M., 2021, "The cyanide revolution. Efficiency gains and exclusion in artisanal and small-scale gold mining", *Geoforum*, 126, 267-276 pp.
- [48] Abdoul Kassoum H., 2022, Les effets de l'exploitation artisanale de l'or sur les activités socio-économiques dans la commune rurale de Gorouol (Département de Téra), Mémoire de master, Université Abdou Moumouni, Niamey, 90 pp.
- [49] Nouhou, A., 2015, Suivi de l'exploitation minière aurifère dans le liptako nigérien (région de Tillabéri), Mémoire de master, Institut Supérieur d'Etudes Spatiales et des Télécommunications, Ouagadougou, 55pp.
- [50] Boubacar Zanguina D., 2023, Perception des risques sanitaires, environnementaux et sociaux par les orpailleurs de Koma Bangou (Liptako nigérien), Mémoire de Master de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, 106 p.
- [51] Levin Sources, 2021, Analyse des chaînes de valeurs de l'artisanat minier et identification des sites pilotes artisanaux d'encadrement dans le cadre du projet GOLD. Rapport, 155 pp.
- [52] Alassane A., 2019, "Impact de l'orpaillage sur l'élevage bovin dans l'est de la préfecture de Tchaoudjo au Togo", *Revue de Géographie du Laboratoire Leidi*, ISSN, 0851- 2515, Université Gaston Berger, Sénégal, 10-28 pp.
- [53] Keita A., 2017, Orpaillage et accès aux ressources naturelles et foncières au Mali. Les Cahiers du CIRDIS (n°1) Collection recherche. Centre interdisciplinaire de recherche en développement international et société, 29 pp.
- [54] Organisation pour la Coopération et le Développement Economique et Autorité de Développement Intégré de la Région du Liptako-Gourma, 2018, *L'or à la croisée des chemins*, Étude d'évaluation des chaînes d'approvisionnement en or produit au Burkina Faso, Mali et Niger, UE/ALG, France, 70 pp.
- [55] Maradan D., Ouedraogo B., Thiombiano T. et Zein K., 2011, Analyse économique du secteur des mines liens pauvreté et environnement. *sba-Ecosys-CEDRES*. Rapport MECV Burkina Faso- mai 2011, 69 pp.
- [56] Glasson J. et Therivel R., 2013, *Introduction to environmental impact assessment (4th ed.)*. London, Routledge, 242 pp.
- [57] Keita S., 2001, Etude sur les Mines Artisanales et Les Exploitations minières à Petite Echelle au Mali. IIED, n° 80; 54 p.
- [58] Akpo K.S., Cauphys-Ama B.A., Coulibaly S. L., Kouakou K., Eba, M. G., Coulibaly L. et Hunt S., 2022, "Impact de l'orpaillage clandestin sur les ressources floristiques de la zone phytogéographique de Kanoroba (Côte d'Ivoire)", *European Scientific Journal*, ESJ, 18 (3), 139-161 pp.
- [59] Zakaria Ibrahim O., Tankari Dan-Adjo A., Guero Y., Maïssoro Malam Idi, F. et Echevarria G., 2019, "Distribution spatiale des éléments traces métalliques dans les sols de la zone aurifère de Komabangou au Niger". *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 13 (1), 557-573 pp.
- [60] Djibrilla A. M., 2017, Analyse des impacts environnementaux et socio-économiques liés à l'exploitation minière de l'or dans le Liptako nigérien: approche méthodologique et mesures d'atténuation, Thèse de Doctorat de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, 267 pp.
- [61] Andriamasinoro F. and Ange J. M., 2012, Artisanal and small-scale gold mining in Burkina Faso: suggestion of multi-agent methodology as a complementary support in elaborating a policy, *Elsevier*, 37 (3), 385-396 pp.
- [62] Mangambu Mokoso J.D., Asimbo Bondoo N. et Ekele Mbenga R., 2021, "Regards Sur Les Impacts Environnementaux De Projet d'Exploitation Minière Semi - Industrielle Dans Le Bassin Du Congo: Cas De La Rivière Aruwimi (Territoire De Basoko, RD Congo)", *European Scientific Journal*, ESJ, 17 (29), 328-363 pp.
- [63] Kilosho J., Mukasa A.N. et Kamundala G., 2013, Traçabilité des produits miniers dans des zones de conflits au Sud Kivu, In Marrayse, S. & Omasombo, J. (éd.), *Collection Cahiers africains, Conjonctures congolaises 2012*, 82, Paris, l'Harmattan, 115-14224 pp.
- [64] Mangambu M., Ntahobavuka H., Basinyize B., Lokumu I. and Robbrecht E., 2018, "Pteridaie: indicator of the vegetation succession and dynamics in the forests Chablis and Edges in Kahuzi-Biega National Park (Eastern D. R. Congo, Albertine Rift)", *International Journal of Biological Research*, 6 (1), 5-13 pp.