

Évaluation environnementale de la pollution au mercure dans l'est de la République Démocratique du Congo

BUTUZI, SUD KIVU
SOME, ITURI



Première publication en novembre 2016 par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement
© 2016, Programme des Nations Unies pour l'Environnement
Programme des Nations Unies pour l'Environnement
P.O. Box 30552, Nairobi, KENYA
Tel : +254 (0)20 762 1234
Fax : +254 (0)20 762 3927
E-mail : uneppub@unep.org
Web : <http://web.unep.org/fr>

La présente publication peut être reproduite, en totalité ou en partie, sous n'importe quelle forme, à des fins éducatives ou non lucratives, sans l'autorisation préalable du détenteur des droits d'auteur, à condition qu'il soit fait mention de la source. Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement souhaiterait recevoir un exemplaire de toute publication produite à partir des informations contenues dans le présent document. L'usage de la présente publication pour la vente ou toute autre initiative commerciale quelle qu'elle soit est interdite sans l'autorisation préalable écrite du Programme des Nations Unies pour l'Environnement. La terminologie géographique employée dans cette publication, de même que sa présentation, ne sont en aucune façon l'expression d'une opinion quelconque de la part de l'éditeur ou des organisations participantes à propos de la situation légale d'un pays, d'un territoire, d'une ville ou de son administration ou de la délimitation de ses frontières ou de ses limites.

Photo de couverture : un morceau d'or 'spongieux' produit lors du brûlage de l'amalgame mercure-or

Photo Credits : 3,4,5,7,8,15,16,17,18, 19,21,33,34 © Paul Cordy

Photo de couverture, Inset encadré avant, 1,2,6,9,10,11,12, 13, 14,20,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,35,36,37,38, Inset Encadré © Hassan Partow/UNEP

Toutes les photos de ce rapport ont été prises à Butuzi dans le Sud Kivu et Some dans l'Ituri, à l'exception des photos 14 et 19 qui ont été prises à Mongbwalu dans l'Ituri.

Conception et réalisation : Antonia Mendes et Cristina Poiata

Traduit de l'anglais par Dominique Bally Kpokro et revu par Louise Schreyers

L'ONU Environnement
s'efforce de promouvoir des pratiques
respectueuses de l'environnement dans le
monde entier comme dans ses propres activités.
La présente publication est imprimée sur du papier
recyclé à 100%, avec des encres d'origine végétale.
Notre politique en matière de distribution vise à
réduire l'empreinte carbonique
de l'ONU Environnement.

L'exploitation minière artisanale impacte les paysages de l'est de la République Démocratique du Congo



Remerciements

Ce rapport a été préparé par Paul Cordy sur la base d'un travail de terrain réalisé dans l'est de la République Démocratique du Congo (RDC) en 2016. L'étude a été coordonnée par Hassan Partow (PNUE / Service post-conflit et gestion des catastrophes), qui a également contribué et révisé le rapport.

Le travail de terrain a été mené en collaboration avec le Ministère de l'Environnement et Développement Durable (MEDD), l'Agence Congolaise de l'Environnement (ACE), le Ministère des Mines (SAESSCAM) et en consultation avec les autorités locales et les coopératives minières. L'analyse des échantillons a été réalisée par le laboratoire Spiez en Suisse. Le Partenariat Afrique-Canada (PAC), la Mission de maintien de la paix des Nations Unies en RDC (MONUSCO) et le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) ont fourni un appui logistique au travail sur le terrain.

Nous tenons tout particulièrement à remercier les personnes suivantes pour leur aide dans la facilitation du travail sur le terrain : Daniel Ruiz, M'hand Ladjouzi, Rosemary Kioni, Alain Mulimbi (MONUSCO) ; Jamie Graves, Zacharie Bulakali (Partenariat Afrique Canada) ; Félicité Kabonwa, Michel Bagalwa (Autorité locale de Kaziba) ; Muhsoshere Ganywamulume (coopérative Kazicom); Claudia Kamanji (PNUE) et Josef Debeus (PNUD).

Le PNUE aimerait également remercier sincèrement le laboratoire Spiez pour la réalisation de l'analyse d'échantillons de laboratoire, notamment Mario Burger, Marc Stauffer, Jasmin Ossola et André Pignolet.

Le PNUE tient à remercier les personnes qui ont révisé le rapport, notamment : Jean-Claude Emene Elenga, Papy Mbala Mola (Agence Congolaise de l'Environnement) ; Joanne Lebert, Zuzia Danielski et Gerard Van Der Burg (Partenariat Afrique Canada) ; Ludovic Bernaudat, Kenneth Davis (Section Produits Chimiques et Déchets du PNUE) ; Muralee Thummarukudy, David Jensen, Pauliina Upla, Andrew Morton, Sophie Brown (Service post-conflit et gestion des catastrophes du PNUE) et Usman Tariq (Programme de Gestion des produits chimiques et des déchets de l'UNITAR). Sincères remerciements à Antonia Mendes et Cristina Poiata pour avoir finalisé la mise en page et la publication du rapport.

Table des matières

Résumé	4
1. Introduction	9
L'artisanat minier aurifère.....	10
L'extraction minière de l'or dans l'est de la RDC	15
Site d'EMAPE de Butuzi, Sud Kivu	15
Site d'EMAPE à Some dans l'Ituri	25
2. Méthodes d'évaluation du mercure	31
Échantillonnage des sédiments.....	31
Échantillonnage de poussière	32
Inventaire du mercure	33
3. Analyse des résultats	35
Analyse des sédiments	39
Analyse de la poussière.....	39
Inventaire de mercure.....	40
4. Réduction du mercure	41
Plan d'action pour la réduction du mercure	44
5. Butuzi : Stabilisation des pentes et atténuation des risques.....	46
6. Some : Dégradation des forêts et perte de biodiversité	52
7. Exploration minière	56
8. Sécurité au travail.....	58
9. Obstacles à la formalité et piège de la pauvreté dans l'exploitation minière artisanale ..	60
10. Conclusions et Recommandations	63
Annexe 1 : Interprétation des analyses de laboratoire	65
Annexe 2 : Résultats d'analyses de laboratoire	73

Résumé

Ce rapport est une évaluation environnementale de la pollution au mercure dans deux sites d'extraction minière artisanale de l'or dans l'est de la République Démocratique du Congo (RDC). Elle a été menée par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) sur base d'un travail de terrain à Butuzi dans le Sud-Kivu et à Some dans l'Ituri. Le but de cette évaluation est de fournir des conseils techniques au projet pionnier «Or juste» du Partenariat Afrique-Canada (PAC), qui vise à exploiter de l'or licite, libre de conflit et traçable des deux sites miniers artisanaux susmentionnés vers les marchés internationaux. À cet égard, l'assistance technique sur la réduction du mercure entraînant une augmentation de la production d'or, fait également partie intégrale du modèle incitatif que le projet de PAC vise à développer pour encourager les producteurs artisanaux à vendre leur or par des voies légales.

Cette étude représente la première évaluation sur le terrain de l'utilisation, des émissions et des rejets de mercure dans l'environnement par le secteur minier artisanal de l'or en RDC. La méthodologie de préparation de l'inventaire des émissions et des rejets dans les deux sites miniers artisanaux d'or est conforme aux directives élaborées par le Partenariat Mondial sur le mercure du PNUE pour la Convention de Minamata sur le mercure. En particulier, les estimations de base de cette étude devraient aider à préparer l'Évaluation Initiale de Minamata (EIM) de la RDC et le Plan d'Action National (PAN) pour l'exploitation minière artisanale et à petite échelle de l'or¹ (EMAPE). En outre, le rapport aborde d'autres problèmes environnementaux tout comme les risques sanitaires et les risques d'expositions associés aux deux sites d'EMAPE susmentionnés, ainsi que certains des grands défis de la gouvernance auxquels est confronté le secteur artisanal de l'extraction de l'or.

En abordant les multiples défis environnementaux sur les deux sites d'EMAPE, une stratégie progressive prenant en compte les coûts d'investissement et la complexité des mesures est proposée. Elle comprend des interventions techniques ciblées pour :

- i) Réduire l'utilisation du mercure et la pollution ;
- ii) Aider à atténuer la déstabilisation des pentes, la déforestation et la perte de biodiversité ;
- iii) Améliorer la sécurité au travail dans les sites miniers.

Aperçu de l'Exploitation Minière Artisanale de l'or dans l'est de la RDC

- 80 % des mineurs artisanaux de l'est de la RDC cherchent de l'or
- Environ 160 000 à 200 000 mineurs d'or
- ~ 1 000 sites d'EMAPE dans l'est de la RDC (IPIS : 857 ; BGR : 1305)
- Production de l'EMAPE estimée à 8-10 tonnes par an
- Les exportations officielles sont estimées à environ 200 kilogrammes (soit 98 % des exportations relèvent de la contrebande)
- L'or est la principale source de financement des groupes armés et criminels dans l'est de la RDC, représentant 50 % de leurs revenus

Source : IPIS (2015 : Cartographie des conflits liés aux minerais dans l'Est de la RDC ; PNUE-MONUSCO-OSESG (2015) ; Rapport d'experts sur l'exploitation illégale et le commerce des ressources naturelles

¹ Le projet MIA-PAN de la RDC sera mis en œuvre avec l'assistance technique du PNUE et de l'UNITAR, et l'appui financier du Fonds pour l'Environnement Mondial. Les activités du projet devraient démarrer fin 2016.

Pollution par le mercure

L'utilisation du mercure par les artisans miniers d'or est répandue dans l'est de la RDC et les utilisateurs ont peu de connaissances sur la toxicité et les risques environnementaux qu'elle peut générer. L'utilisation extensive du mercure découle de sa séparation rapide, facile et efficace d'avec l'or du minerai. Des concentrations importantes de mercure peuvent être trouvées dans le sol et les rivières près des sites miniers, ainsi que dans les habitations et les entrepôts où le mercure est brûlé. Le plus grand risque sanitaire pour les mineurs, les femmes et les enfants provient du brûlage à ciel ouvert de l'amalgame au sein des petites communautés et des cuisines, ainsi que dans les centres urbains.

Peu des personnes rencontrées lors de l'évaluation sur le terrain (mineurs, fonctionnaires, acheteurs d'or) semblaient avoir une connaissance préalable des dangers que le mercure représente pour la santé. De plus, personne ne savait que les acheteurs d'or dans les villes libèrent du mercure lors de la fusion et de la purification de l'or. Le mercure est aussi évaporé lorsque l'or spongieux est fondu en lingots.

Les émissions atmosphériques de mercure représentent 29 % du total des rejets provenant des deux sites d'EMAPE. La grande partie du mercure utilisé est perdue dans les déchets miniers (71 %), et potentiellement près de la moitié de ceux-ci peuvent être transportés par ruissellement avec les sédiments en suspension. La contamination par le mercure qui en résulte pourrait avoir un impact négatif sur le milieu fluvial sur de nombreux kilomètres en aval des sites où les rejets se produisent dans les cours d'eau.

Les analyses de laboratoire ont confirmé la présence de mercure dans tous les milieux naturels auxquels nous nous attendions, bien que les concentrations soient relativement faibles par rapport aux communautés minières artisanales d'autres pays d'Asie et d'Amérique du Sud. Ceci reflète le fait que les mineurs locaux ne brûlent pas les amalgames d'or et de mercure dans des endroits clos, ni n'utilisent le mercure en quantités excessives pour l'or qu'ils peuvent récupérer.

L'exploitation minière artisanale dans l'est du Congo crée un vaste et disparate réseau de contamination par le mercure, à un faible niveau, ainsi que des 'points chauds' de méthylation. Cela peut avoir une incidence à long terme sur la santé des écosystèmes et celle des populations notamment au sein de vastes zones rurales et pauvres.

En outre, des concentrations d'arsenic de 10 à 20 fois supérieures aux normes recommandées ont été détectées en aval des sites miniers de Butuzi, ce qui peut causer de graves problèmes de santé.

Tableau 1 : Valeurs moyennes des quantités de mercure inventoriées à Butuzi et Some.

Quantité inventoriée	Moyenne N=11	Écart-type
Mercure appliqué	4.09 g	3.98
Amalgame	0.50 g	0.42
Mercure récupéré	3.62 g	3.73
Or spongieux	0.23 g	0.19
Mercure perdu	1.00 g	1.14
Ratio Mercure : Or	4.3 : 1	2.74
% Perdu dans l'air	29	0.10
% Perdu dans le sol	71	0.10

Un résultat positif est que certains mineurs produisent des rejets de mercure relativement modestes et confinés en concentrant l'or du minerai par l'usage d'écluses simples² avant d'appliquer le mercure. Toutefois, cette pratique relativement bonne est en général contrebalancée par les grandes quantités de résidus et de matières premières traitées par amalgamation du minerai entier (dans laquelle le mercure est appliqué à l'ensemble du minerai primaire). Les inventaires préliminaires de mercure des sites suggèrent que le rapport entre les pertes de mercure et l'or produit se situe entre 2 : 1 et 7 : 1 (en moyenne 4,5 : 1), ce qui correspond aux évaluations d'autres sites miniers artisanaux africains ayant des pratiques similaires. Ce ratio entre le mercure et l'or est élevé et inefficace selon les normes internationales, mais faible par rapport aux pratiques plus mécanisées en Amérique et en Asie.

Plan d'action pour la réduction des émissions de mercure

Les sites miniers artisanaux devraient être organisés de façon à ce que le traitement des minerais, l'usage du mercure et le stockage des résidus se fassent à une distance d'un kilomètre (ou à au moins 500 m) de toutes les sources d'eau naturelles, des villages, des marchés et des restaurants. Le site doit être sur un terrain élevé pour prévenir des inondations et tout drainage de la zone doit passer par des bassins de décantation afin de réduire les émissions de sédiments en suspension. Le processus d'amalgamation des résidus retraités doit être remplacé par un meilleur traitement initial du minerai afin que tout l'or récupérable qui peut être concentré ou amalgamé soit extrait au premier passage. D'autres recommandations pour les essais comprennent l'utilisation d'un concentrateur vortex d'or pour le traitement des résidus et la récupération du mercure et l'or, ainsi que la variation du débit d'eau dans les écluses, entre autres.

L'utilisation du mercure peut être considérablement réduite ou complètement éliminée en modifiant la façon dont le minerai est traité. La stratégie devrait être de prioriser l'augmentation de la pré-concentration avant l'amalgamation. Une pré-concentration efficace entraîne des pertes d'or, de sorte qu'il faut améliorer le procédé dans toutes ses étapes, depuis l'exploration et la planification de l'extraction et l'exploitation des gisements, le choix et le prétraitement du minerai, le broyage efficient pour la libération de l'or, aussi bien que le suivi de l'or dans le minerai et les résidus. Dans l'ensemble, une récupération plus importante d'or peut être obtenue sans mercure. La technologie et la formation sont la solution, en supposant qu'elles ne soient pas qu'une formalité mais qu'elles permettent l'accès à l'investissement et aux services.

Un plan d'action progressif pour réduire l'utilisation du mercure et la pollution est proposé ci-dessous. Le plan commence par des changements nécessitant le moins d'investissement et de formation, suivis de changements progressivement plus coûteux et plus complexes qui peuvent être ajoutés lorsque les mineurs sont prêts à franchir l'étape suivante³. Des consultations avec les mineurs et les communautés locales devront être organisées afin d'obtenir leur point de vue et leur adhésion au plan proposé.

² Une rampe de lavage pour la recherche d'or

³ Les informations détaillées et les orientations soulignées ci-dessous sont présentées dans le document suivant du PNUE : [Reducing Mercury Use in Artisanal and Small-Scale Gold Mining : A Practical Guide](#)

Action immédiate :

1. Promouvoir l'utilisation de cornues ou de hottes à fumée pour récupérer le mercure et réduire l'exposition et l'inhalation de vapeurs toxiques de mercure. Les mineurs doivent cesser d'utiliser les feuilles comme une cornue.
2. Promouvoir la concentration et la fusion directe comme alternative à l'amalgamation totale du minerai.
3. Améliorer l'approvisionnement en eau et la gestion des déchets à l'aide de réservoirs imperméables, le remplissage des anciens puits miniers et la réorganisation des activités de traitement. Cela permettra d'isoler les rejets de mercure et de réduire l'infiltration d'eau dans les zones d'amorçage des glissements de terrain.

Objectifs à moyen terme :

4. Analyser la minéralogie du minerai d'or pour orienter les changements dans les méthodes de transformation à la fois pour le broyage et la concentration par gravité.
5. Optimiser l'alimentation du broyeur, la vitesse, la durée et le contrôle de la taille des grains, en réalisant également des essais participatifs contrôlés (incluant aussi l'installation et la comparaison des matériaux de broyage existants).
6. Améliorer l'utilisation des écluses en optimisant la vitesse d'écoulement, la consistance de l'alimentation et les turbulences grâce à des essais participatifs et contrôlés sur site.
7. Réaliser des essais sur le terrain des différents dispositifs mécaniques de concentration sur site, en commençant par les tables vibrantes, les spirales, des centrifugeuses, et des gabarits, en faisant des essais à court terme du matériel de laboratoire (pouvant être également utilisé pour améliorer les concentrés primaires en vue de rendre possible la fusion directe).

Objectifs à long terme :

8. Mettre en œuvre les meilleures pratiques de broyage en milieu humide et de concentration. Parmi les options possibles, mentionnons l'utilisation de l'unité de traitement à petite échelle du Conseil Artisanal de l'Or (Artisanal Gold Council) au Burkina Faso comme modèle⁴.
9. Utiliser le système de décapage et de lavage à la batée (méthode de base) avec potentiellement aussi des instruments géophysiques modernes (comme les levés électromagnétiques ou autres) pour étudier les réserves d'or et planifier les activités minières.

Le plan ci-dessus permettra d'améliorer la récupération de l'or tout en réduisant progressivement, voire en éliminant, l'utilisation du mercure. Il s'applique également aux sites miniers de roches dures et alluvionnaires.

⁴ Voir [Rapport d'AGC sur la situation au Burkina Faso](#) et le film vidéo [Emploi de l'Or Artisanal pour l'Aide au Développement](#)

Autres questions environnementales

En plus de la contamination par le mercure, les autres impacts environnementaux majeurs sur les deux sites d'EMAPE sont le déboisement (région de Some / Kafiawema), le risque accru de glissements de terrain (Butuzi) et la dégradation fluviale. Pour relever ces défis, une approche systémique peut être adoptée pour capitaliser les avantages supplémentaires qui pourraient être obtenus en reliant la transparence, l'aménagement du territoire et la lutte contre la pollution, lorsque cela est possible. Par exemple, les initiatives de gestion durable des forêts et de transparence dans le secteur forestier seraient une activité corollaire naturelle, avec des avantages pour les communautés et les écosystèmes locaux qui proviennent de l'aménagement du territoire et de la transformation technologique.

La planification de l'utilisation des terres dans le contexte de la production aurifère requiert une exploration de base et une estimation du gisement de minerai afin d'encadrer de très près les excavations, les sites de décharge de résidus et les emplacements des camps miniers avec un impact minimal et un potentiel de régénération maximal. La planification combinée des mines et de l'usage des forêts devrait viser à compenser les risques sociaux et financiers liés à la formalisation et aux nouvelles technologies de production. Aborder ces problèmes de façon isolée conduirait à négliger d'importantes conséquences imprévues et manquer des potentiels points de levier. Par exemple, il ne serait pas judicieux ou durable de se concentrer uniquement sur le détournement de la richesse générées par l'or par des groupes armés sans tenir compte de la dévastation rapide et irrémédiable de vastes parcelles de forêt de l'Afrique équatoriale. Il n'est pas non plus possible d'ignorer les morts et les blessures potentielles de centaines de personnes dans les glissements de terrain et les inondations catastrophiques induites par la déstabilisation incontrôlée des pentes de montagne issue de l'exploitation minière artisanale. Ces menaces risquent de porter atteinte à la réputation du projet pilote PAC et pourraient nuire à son impact. Il est donc important d'établir un plan d'atténuation des risques montrant que des mesures d'atténuation proactives seront prises. Dans le cas de Butuzi, un certain nombre de mesures simples sont recommandées, ce qui pourrait diminuer la déstabilisation de la pente et l'exposition de personnes à la zone dangereuse, mais la menace restera.

1. Introduction

Ce rapport est une évaluation environnementale de la pollution par le mercure dans deux sites d'extraction artisanale d'or dans l'est de la République Démocratique du Congo (RDC). Il a été réalisé par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) sur la base d'un travail de terrain à Butuzi dans le Sud-Kivu (11-15 mars 2016) et Some dans l'Ituri (18-22 mars 2016). Le but précis de cette évaluation est de fournir des conseils techniques et un soutien au Partenariat Afrique-Canada⁵ (PAC) dans la mise en œuvre de son projet pionnier «Or juste», qui vise à commercialiser de l'or licite, libre de conflit et traçable des deux sites miniers sur les marchés internationaux.

Le principal objectif de cette étude est d'évaluer l'utilisation et les rejets de mercure dans l'environnement et d'identifier les points chauds contaminés. À cette fin, un inventaire rapide du mercure dans les deux sites EMAPE a été réalisé sur la base des directives élaborées par le Partenariat mondial sur le mercure du PNUE pour la Convention de Minamata sur le mercure ; à savoir l'Évaluation Initiale de Minamata (MIA) et le [Plan d'Action National sur l'exploitation minière artisanale et à petite échelle](#). Des échantillons environnementaux (sol / sédiments et poussières) ont été collectés et expédiés au laboratoire Spiez en Suisse pour analyse. En outre, le rapport aborde d'autres problèmes environnementaux ainsi que les risques professionnels et sanitaires associés aux deux sites d'EMAP susmentionnés, ainsi que certains des grands défis de gouvernance auxquels est confronté le secteur artisanal de l'extraction de l'or.

En abordant les multiples défis environnementaux sur les deux sites d'EMAPE, une stratégie progressive prenant en compte les coûts d'investissement et la complexité des mesures est proposée. Il comprend des interventions techniques ciblées visant à :

- i) Réduire l'usage du mercure et sa pollution ;
- ii) Aider à atténuer la déstabilisation des pentes, la déforestation et la perte de biodiversité ;
- iii) Améliorer la sécurité au travail dans les sites miniers.

En outre, il est important de souligner que réduire et éliminer l'utilisation du mercure ne représente pas seulement une mesure de préservation de la santé et de l'environnement. Étant donné que les améliorations technologiques pour la réduction du mercure conduisent à des rendements d'or plus élevés, celle-ci est également une composante intégrale du modèle incitatif que le projet Or juste vise à développer pour encourager les producteurs artisanaux à vendre leur or par des voies légales. La sensibilisation, y compris les essais pratiques de démonstration, est tout aussi cruciale pour promouvoir les mesures de réduction du mercure et leur adoption par les mineurs artisanaux.

L'assistance technique fournie dans le présent rapport s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre PAC, la Mission de maintien de la paix de l'ONU en RDC, la MONUSCO et le PNUE pour encourager la formalisation du secteur minier artisanal de l'or en aidant à contrôler l'extraction et le commerce de l'or.

⁵ Le Partenariat Afrique-Canada (PAC) se concentre sur l'élaboration d'approches novatrices pour renforcer la gouvernance des ressources naturelles dans les zones touchées par les conflits et les zones à haut risque. PAC est une organisation partenaire officielle de la Conférence Internationale de la Région des Grands Lacs (CIRGL) et reçoit un financement d'un large éventail de gouvernements et d'institutions pour aborder la question des conflits liés aux minéraux dans la région des Grands Lacs en Afrique.

L'artisanat minier aurifère



Photo 1 : Un amalgame d'or et de mercure avant brûlage

Les mineurs artisanaux utilisent des méthodes rudimentaires pour extraire les minerais en raison du manque d'accès à du matériel et des ressources appropriés, eux-mêmes causés par la pauvreté et l'insécurité foncière. L'extraction se réfère à l'extraction de la roche contenant l'or (« or filonien ») du sol, qui est la partie la plus dangereuse et la plus laborieuse d'une exploitation minière. C'est par traitement du minerai qu'on en sépare l'or. Dans l'extraction minière de roche dure (minerai "lode"), l'on doit d'abord concasser et broyer les roches pour libérer l'or. Les mineurs d'or alluvionnaire en général extraient le minerai des excavations et en séparent l'or, vu qu'il apparaît principalement

sous forme de pépites et de poussières. Les mineurs d'or alluvionnaire et ceux d'or de filon concentrent leur minerai pour rendre la séparation possible.

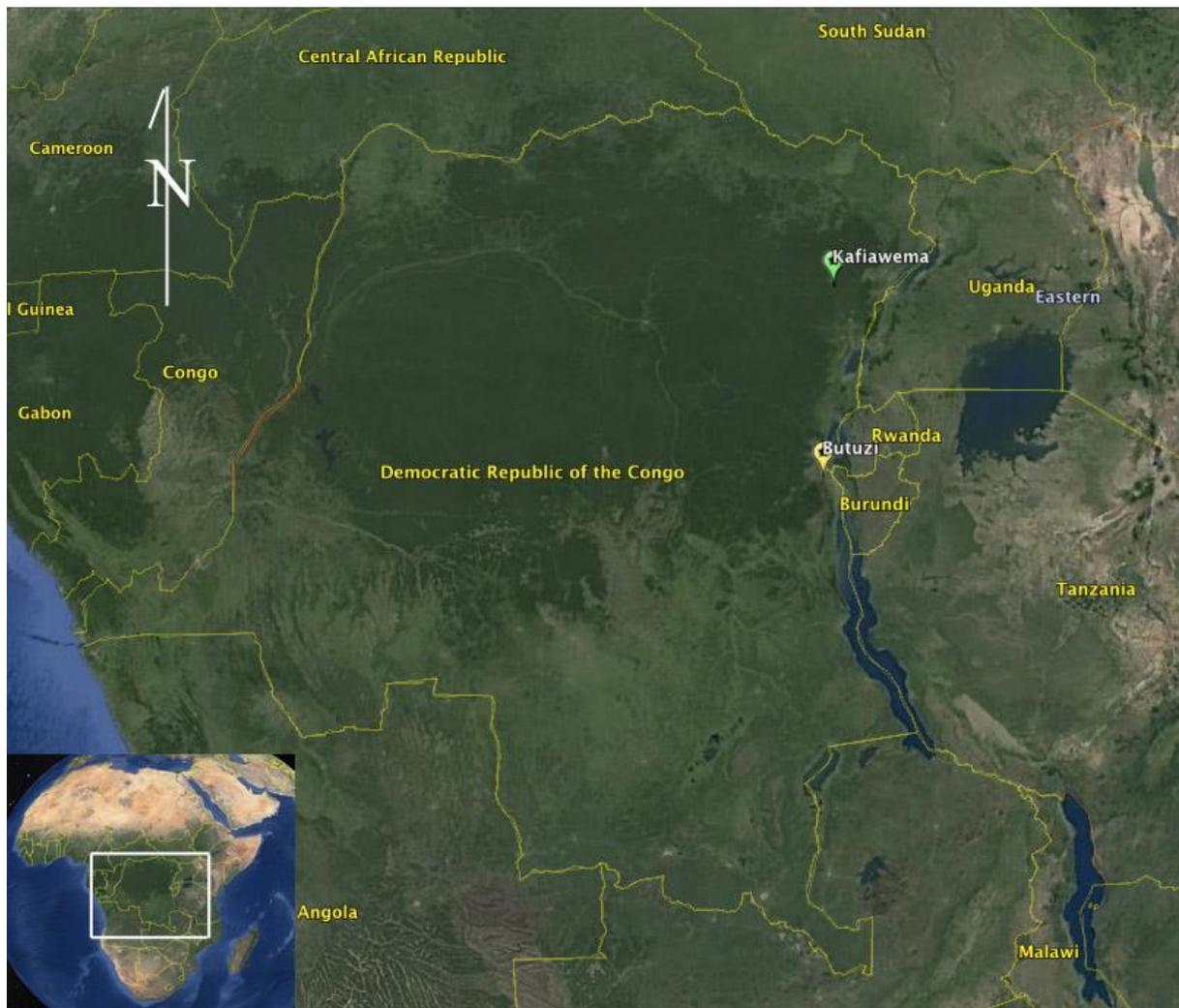
Avec un équipement adéquat, il est souvent possible d'extraire la majeure partie de l'or libéré à l'aide d'une combinaison de différents outils de concentration qui augmentent progressivement la teneur d'or du concentré en réduisant les pertes d'or. La séparation chimique utilisant du mercure ou du cyanure est souvent appliquée aux concentrés d'or pour extraire la portion de l'or qui ne peut inévitablement pas être extraite en utilisant uniquement des méthodes de concentration.

Le mercure agrège les particules d'or alors qu'il se mélange et filtre à travers les grains de minerai, formant un « amalgame » de parties à peu près égales de mercure et d'or. L'amalgame peut ensuite être évaporé pour ne laisser que l'or en fin de processus. Le mercure est facilement récupéré par le lavage à batée, bien que des quantités importantes de mercure adhèrent toujours au minerai. Ces déchets contaminés (ou « résidus ») doivent être éliminés de façon durable et isolés des plans d'eau. Le mercure métallique utilisé par les mineurs est insoluble. Dans certaines conditions, cependant, le mercure élémentaire peut être transformé en des formes de méthyl-mercure plus toxiques, qui peuvent se disperser plus facilement et s'accumuler dans la chaîne alimentaire. Le mercure dans la chaîne d'approvisionnement alimentaire (en particulier le poisson) est le principal mécanisme d'exposition humaine au mercure pour les personnes qui ne sont pas directement impliquées dans l'exploitation minière. L'eau translucide à la couleur du thé, typique des milieux tropicaux, est riche en composés organiques et a probablement un potentiel d'oxydoréduction (Eh) et des conditions de pH favorables à la méthylation du mercure. Les effluents miniers ont également tendance à contenir des sédiments fins en suspension. La nanostructure des argiles en suspension se compose de piles de feuilles épaisses qui fournissent de nombreux et excellents sites de liaison au mercure et peuvent catalyser la transformation en espèces réactives précurseurs dans le processus de méthylation.

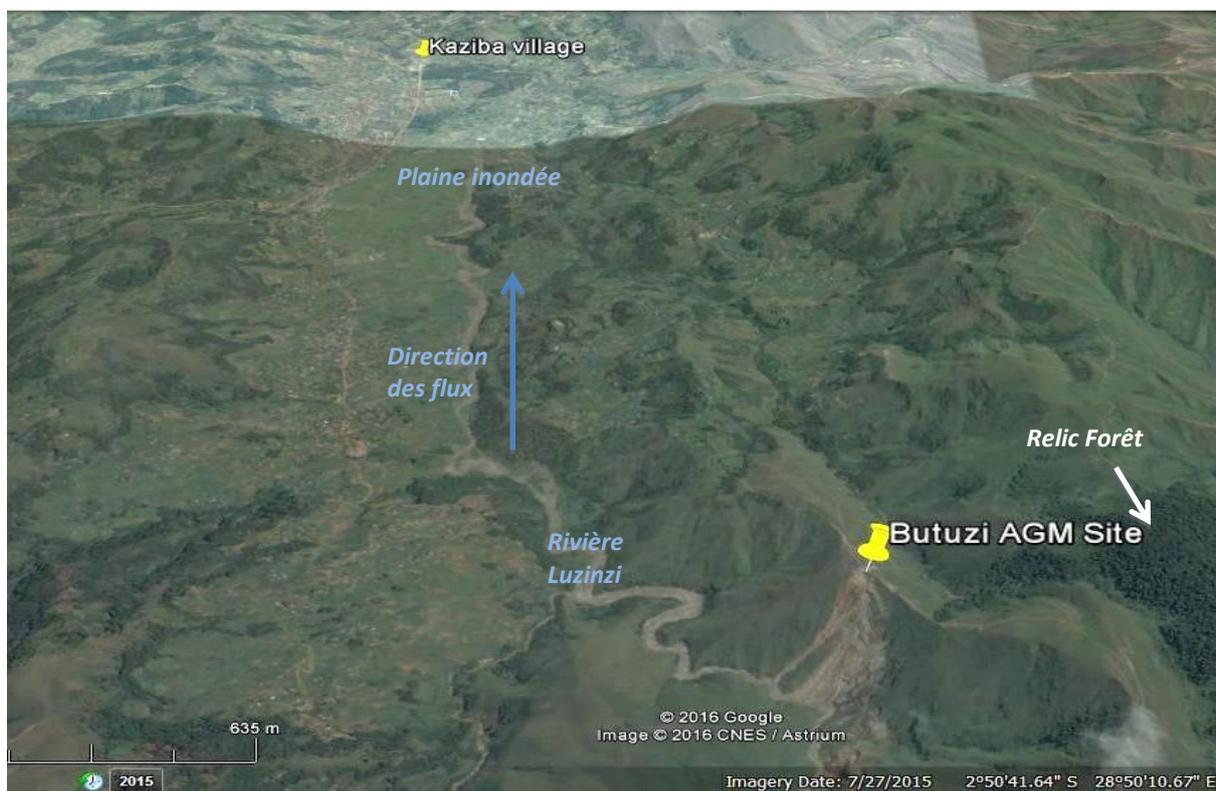
Beaucoup de mineurs artisanaux ne sont pas suffisamment informés ou adeptes de la concentration d'or, et en lieu et place appliquent du mercure à l'ensemble du minerai, par exemple en l'ajoutant à des dispositifs de broyage ou de concentration. C'est ce qu'on appelle l'amalgamation du minerai entier et c'est peut-être la plus importante des pires pratiques identifiées par la Convention de

Minamata sur le mercure. Les mineurs qui concentrent de l'or sur une écluse émettent habituellement deux fois moins de mercure par rapport à ceux qui pratiquent l'amalgamation du minerai entier, parce que beaucoup moins de matériel entre en contact avec le mercure. La promotion de pratiques minières plus efficaces peut aider à motiver de tels changements de comportement, car ils produisent plus d'or tout en utilisant moins de mercure voire même pas du tout.

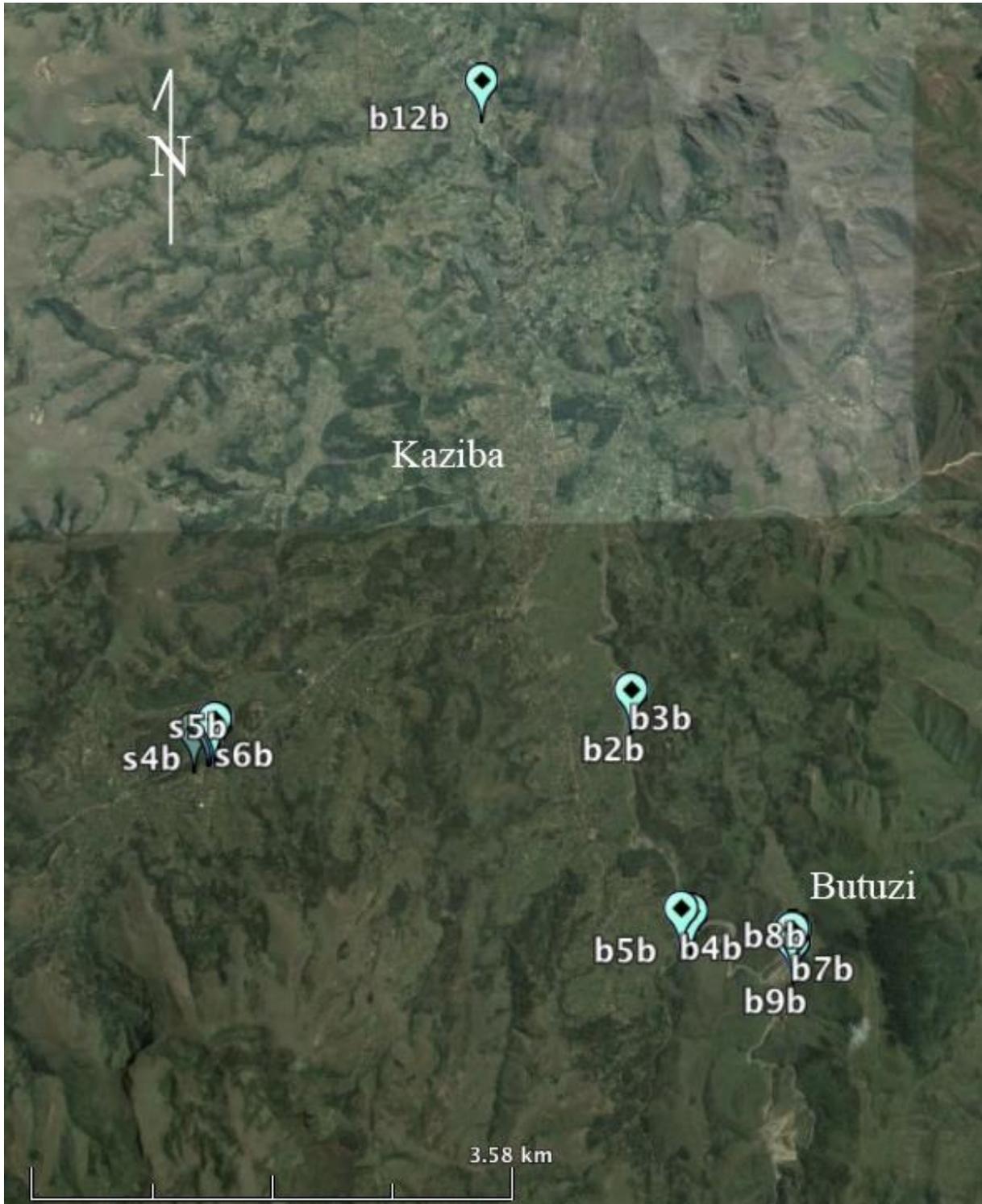
Le recyclage du mercure est un autre changement de méthode important qui peut réduire les émissions et les coûts. De petits dispositifs de distillation de mercure appelés «cornues» condensent les vapeurs de mercure émises lorsque l'amalgame est brûlé et des condensateurs plus gros peuvent être construits pour piéger les émissions de mercure lors des étapes avancées de raffinage.



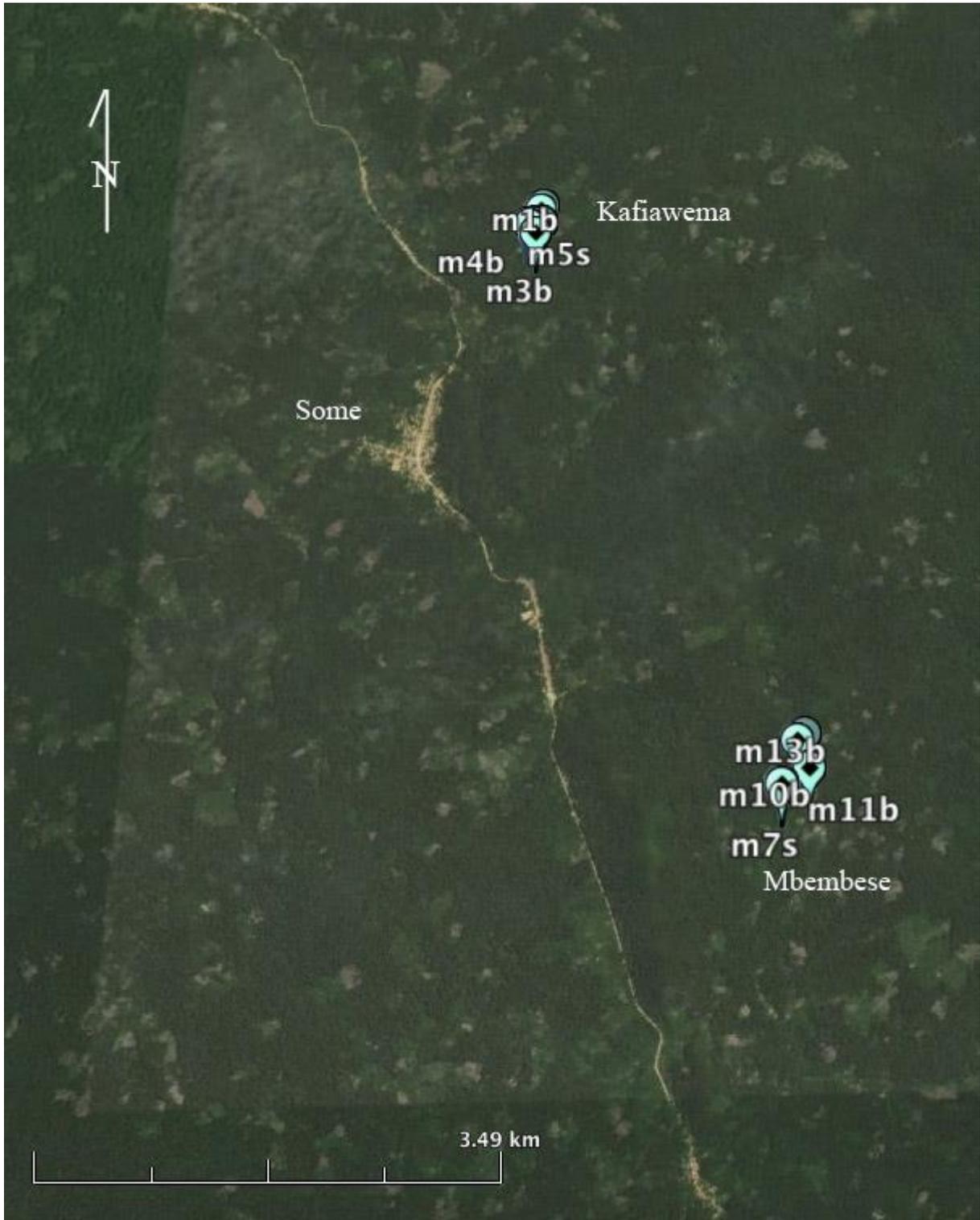
Carte 1 : Carte de la République Démocratique du Congo, montrant les principaux sites sur le terrain. Images Google Earth



Carte 2 : Contexte spatial du site minier de Butuzi et son emplacement par rapport au principal foyer de population du village de Kaziba. Images Google Earth



Carte 3 : Vue d'ensemble de la zone de Kaziba / Butuzi (Sud-Kivu) ; les lieux d'échantillonnage et les codes sont expliqués dans la méthodologie et les résultats (annexe 1). Images Google Earth



Carte 4 : Quelques zones de Kafiawema (Ituri) montrant des zones de déforestation ; les lieux d'échantillonnage et les codes sont expliqués dans la méthodologie et les résultats (annexe 1). Images Google Earth

L'extraction minière de l'or dans l'est de la RDC

L'exploitation minière artisanale de l'or a progressé puis régressé dans l'est de la RDC au cours du siècle dernier. Les deux mines d'or artisanales examinées ici ne sont opérationnelles que depuis 10 ou 15 ans ou même moins, ce qui reflète le caractère imprévisible et migratoire de l'exploitation artisanale dans cette région. En termes d'impacts environnementaux, ces mines se distinguent non seulement par leurs émissions de mercure, mais aussi par les perturbations paysagères et la dégradation des forêts qu'elles génèrent. Néanmoins, il est important de réduire le mercure sur ces sites pour fournir un cas pratique pour l'élimination de l'usage du mercure, car les émissions cumulées de centaines de ces opérations à travers la RDC représentent un grave problème de contamination. La compréhension de la nature de ces opérations est essentielle pour modifier les activités visant à réduire les risques pour l'environnement et la santé humaine.

Site d'EMAPE de Butuzi, Sud Kivu

Le site de Butuzi se trouve dans le relief accidenté de la chaîne de montagnes Mitumba le long de la bordure ouest de la vallée du rift Albertin. Naturellement dominée par la forêt afro-montagnarde, la région a été presque complètement déboisée pendant de nombreuses décennies. Sur le plan administratif, le site de Butuzi est situé dans la Chefferie de Kaziba (territoire de Walungu, province du Sud-Kivu), qui compte environ 45 000 habitants. Parcourir les 55 km de route non bitumée de la capitale provinciale Bukavu à Butuzi prend environ trois heures dans un véhicule à quatre roues motrices.



Photo 2 : Vue du village de Kaziba sur les collines près du site d'EMAPE de Butuzi

La principale activité économique de la chefferie de Kaziba est l'agriculture de subsistance (manioc, maïs, pommes de terre, haricots) et l'élevage traditionnel. Dans le passé, les cultures de rentes (café, quinquina) étaient pratiquées mais semblent désormais être largement négligées. Les plantations boisées (Cyprès, Pin, Eucalyptus) sont largement cultivées pour la production de poteaux et de planches. Un centre d'approvisionnement majeur pour Bukavu, la production de bois serait la principale source de revenus monétaires pour la population locale.

Province du Sud-Kivu

Superficie : 69 130 km²

Population (estimation 2005) : 3,9 millions

Capitale provinciale : Bukavu

Densité démographique : 60 personnes / km²

Agriculture : 70 % du PIB provincial

Mineurs artisanaux : > 100 000 (85 % dans l'extraction de l'or)

Source : MONUSCO (2015), Stratégie provinciale de stabilisation et Plan d'Action pour la Province du Sud-Kivu ; PNUD (2009) Province du Sud-Kivu : Profil Résumé Pauvreté et Conditions de Vie ; IPIS (2014) : Analyse de la carte interactive des zones minières artisanales de l'est de la RD Congo

Exploitation minière artisanale à Butuzi

L'exploitation minière artisanale se déroule sur les pentes les plus escarpées qui sont trop difficiles à cultiver. Dans le site de Butuzi, l'exploitation minière se déroule le long d'une pente très abrupte (> 30 ° avec une chute d'environ 200 mètres) qui descend dans la vallée de la rivière Luzinzi. La crête de la colline de Butuzi atteint une altitude d'environ 2 200 mètres, tombant à environ 2 000 mètres dans la rivière Luzinzi ci-dessous. Les mineurs qui vivent à Kaziba se rendent sur le site minier de Butuzi en moins d'une heure.

En entrant sur le site de Butuzi, on peut voir la déstabilisation incontrôlée des pentes de près et à moyenne distance ainsi que les crêtes successives en arrière-plan. Tous ont créé un aléa majeur et imminent de glissements de terrain en supprimant la végétation d'ancrage et en creusant de façon désordonnée des réservoirs pour l'approvisionnement en eau. L'eau est pompée manuellement dans des canaux ouverts creusés à la main et/ou des tuyaux rattachés aux bassins de collecte d'eau, ce qui alimente les écluses creusées par terrassement à la surface de la mine. L'eau percolant dans les jointures, les cassures et le plan de glissement à travers les bassins de collecte d'eau et les fossés à eau construits au hasard affaibliront davantage la pente avec le temps. Des fissures sont évidentes dans les pentes adjacentes, ce qui suggère que les zones actives d'initiation de glissements de terrain sont sous tension et prêtes à s'effondrer. Les mineurs envoient des déchets en vrac (stériles ou résidus amalgamés) ainsi que de gros rochers tombant sur la pente, ce qui crée des glissements de déchets qui sapent la stabilité de la pente sur une longue ligne jusqu'au fleuve. Les mines elles-mêmes créent un autre problème de stabilité, car les galeries de tunnels de mine non cartographiés risquent à la fois d'éroder la pente à la fois à l'intérieur et aussi par des intersections inattendues lors des travaux en surface. Toutes les entrées des mines ne sont pas renforcées comme dans la photo 4, et l'intérieur est peu renforcé, voire pas du tout.



Photo 3 : Entrée de la mine de Butuzi. Remarquez la frange d'herbes sur les puits de collecte des eaux pluviales, à l'extrémité gauche de la photo, à la marge supérieure de la perturbation, et le tuyau qui amène l'eau par gravité aux écluses ci-dessous. Au-dessus de la personne en rouge se trouvent trois bassins d'amalgamation pleins de boue jaunâtre. Les chutes de déchets gris et rouge sont visibles à droite du centre, et les fissures de glissements de terrain à gauche du centre. La rivière ci-dessous est pleine de mineurs alluvionnaires tous les jours, durant toute l'année.



Photos 4 et 5 : Les entrées rudimentaires de la mine et les tunnels sont parfois renforcés par des poutres de bois, mais ces supports sont peu nombreux et les tunnels sont enclins à s'effondrer. Mineurs lavant le minerai dans des pelles pour évaluer la teneur en or dudit minerai.



Photo 6 : Les poids imprécis utilisés sur les marchés locaux de l'or semblent favoriser les acheteurs

Les mineurs de Butuzi exploitent des gisements de roches primaires, mais ne travaillent que les gisements non consolidés de saprolite surfacique où l'or a déjà été libéré et concentré par l'altération chimique. Cela suggère qu'une grande quantité, peut-être la majorité, de l'or dans leur gisement est contenue dans les blocs de roche dure riche en quartz qu'ils rejettent en roulant vers le bas de la colline, pendant qu'ils creusent pour extraire le sable contenant l'or. Les mineurs recherchent les terres jaunes et rouges entre les blocs les plus durs des rochers, faisant des tunnels tortueux alors qu'ils cherchent les sables de haute qualité plus loin dans la montagne. Cette recherche est dirigée par des « essais⁶ » artisanaux périodiques dans lesquels les mineurs lavent un échantillon du minerai dans une pelle pour voir s'ils peuvent voir des particules d'or à l'intérieur. Cet « essai » est également réalisé pour déterminer la quantité de mercure à appliquer.

Les mineurs de Butuzi qui utilisent les écluses ont tendance à travailler dans de grandes équipes où sont coordonnées les fonctions depuis la creusée, la construction des plans de lavage, la gestion de l'eau, jusqu'à la concentration suivie de l'amalgamation. Il est important d'étudier et de comprendre ces structures organisationnelles existantes afin qu'elles puissent être adaptées et élargies pour inclure les nouveaux rôles exigés par la mise en œuvre de meilleures pratiques. En tant que groupe, les mineurs payent environ 10 dollars américains par jour pour les coûts quotidiens liés à l'eau (~ 5 000 FC pour l'eau et 4 000 FC pour la location des tuyaux).

Les mineurs de Butuzi travaillent typiquement 6 jours par semaine toute l'année pour une production d'or moyenne quotidienne de 0,5 - 1 grammes. Ils sont payés entre 34-37 dollars US par gramme. Cependant, les méthodes de mesure du poids sont imprécises et des visites sporadiques sur le marché local de l'or ont montré que cela favorise l'acheteur. En d'autres termes, si l'acheteur pèse l'or comme 1 gramme, il peut en effet peser plus que cela, ce qui est l'une des raisons pour

⁶ Dans le domaine minier, un essai fait référence à une analyse physique du minerai, métal ou alliage.

lesquelles les acheteurs peuvent se permettre apparemment de donner un prix proche du marché pour les poids défectueux déterminés par eux.



Photo 7 : Remarquez la trame de fissures dans la mine de cuivre sur la pente adjacente, et le déversement de déchets de roche grise s'étendant à mi-chemin au travers du lit de la rivière. Les chemins sinueux créés par les canaux muraux construits par les mineurs alluvionnaires peuvent également être distingués ci-dessous.

Le lit de la rivière Luzinzi au-dessous de ce site minier est complètement altéré par l'accumulation de déchets miniers, les glissements de terrain provoqués et l'action de centaines de mineurs qui travaillent le long de la rivière tous les jours. Les mineurs sont constamment exposés au risque de glissement de terrain ci-dessus.

Ils restructurent également le lit du fleuve pour créer des plans de lavage, des bassins et des murs en pavés qui protègent les canaux fabriqués et retiennent le sable usagé qu'ils ont déjà travaillé. Ces sables sont retravaillés à plusieurs reprises au fil du temps parce que leurs méthodes sont si inefficaces qu'il y a toujours plus d'or à extraire dans les résidus de toute mine. Les inondations périodiques contribuent probablement aussi à mobiliser et à concentrer l'or.

Traitement des minerais à Butuzi

Les mineurs de Butuzi ne concassent pas ou ne broient pas leur minerai, plutôt, ils concentrent l'or libre trouvé dans les sables perdus à l'intérieur de leurs tunnels. Certains utilisent des canaux comme écluses creusées dans la pente et bordées d'écorce de bananier. Parfois, ils mettent également du mercure dans l'écorce de banane, ce qui entraîne inévitablement des pertes. Les mineurs individuels ont tendance à ne pas utiliser d'écluses et, au contraire, ils concentrent leur minerai à la main. Ils mélangent le mercure dans le minerai entier en utilisant des bassines en plastique dans les petits bassins d'amalgamation. Chaque mineur met le contenu en minerai d'un sac de riz d'environ 50 kg dans la bassine en plastique, ainsi que plusieurs grammes de mercure, selon la richesse du minerai. Les bassins d'amalgamation sont non doublés et ne sont pas suffisamment étanches pour empêcher

l'infiltration dans les eaux souterraines ou les émissions débordantes de mercure contenu dans les sédiments en suspension pendant les fortes pluies ou les inondations.



Photo 8 : Structure de la muraille et du canal du lit de rivière avec d'intenses activités.

Les rejets de déchets provenant de l'extraction de roche dure dans les ruisseaux et les rivières, ainsi que la perturbation des mineurs alluvionnaires travaillant dans les grands fleuves, modifient complètement la morphologie fluviale des zones où ils travaillent. L'envasement détruit les écosystèmes fluviaux, rendant les rivières d'autrefois contenant des poissons, stériles et éliminant ainsi une importante source de protéines locales.

L'utilisation du mercure est habituellement contrôlée par le responsable d'une équipe de mineurs artisanaux (appelé PDG, Président Directeur Général), qui répartit les intrants en fonction du contenu potentiel en or du minerai, évalué à l'aide de son "dosage" artisanal au travers de la méthode de lavage d'un échantillon du minerai dans une petite écuelle à or. Le PDG est généralement très prudent dans son application de mercure, contrairement aux opérations en Asie et en Amérique latine où le mercure est appliqué bien au-delà de ce qui est optimal, avec la fausse attente que cela garantira une récupération maximale possible. Les mineurs, ensuite, mélangent bien le mercure dans le minerai ou le concentrent à mains nues dans une bassine en plastique. Après le mélange, le minerai est lavé dans une écuelle pour réduire graduellement la masse de minerai dans la bassine jusqu'à ce que presque tout soit éliminé de sorte à pouvoir facilement récupérer le mercure liquide. Ce mercure est ensuite pressé à travers un chiffon, en prenant soin de récupérer l'excès de mercure dans la bassine de lavage. Ce mercure est retourné au PDG. Ensuite, l'amalgame résultant est brûlé sur un feu de charbon de bois. À Butuzi le mercure est distribué avec un compte-gouttes, et à Some ils utilisent de petites seringues. La plupart du mercure est perdu dans les résidus, bien que le risque le plus immédiat pour la santé publique résulte du brûlage de l'amalgame à ciel ouvert.



Photo 9 : Brûlage à ciel ouvert de l'amalgame d'or avec une cuillère à soupe sur le poêle à charbon



Photos 10 et 11 : L'écorce de banane sert de concentrateur effectif d'or, mais inefficace (à gauche). Des tapis appropriés et moelleux, sur un plan de lavage incliné à 10° seraient plus efficaces pour capturer l'or. Les bassines en plastique servent de concentrateurs d'or relativement pauvres, et les écuelles à or appropriées seraient plus efficaces



Photo 12 : Gouttelettes de mercure visibles sur l'écorce de bananier

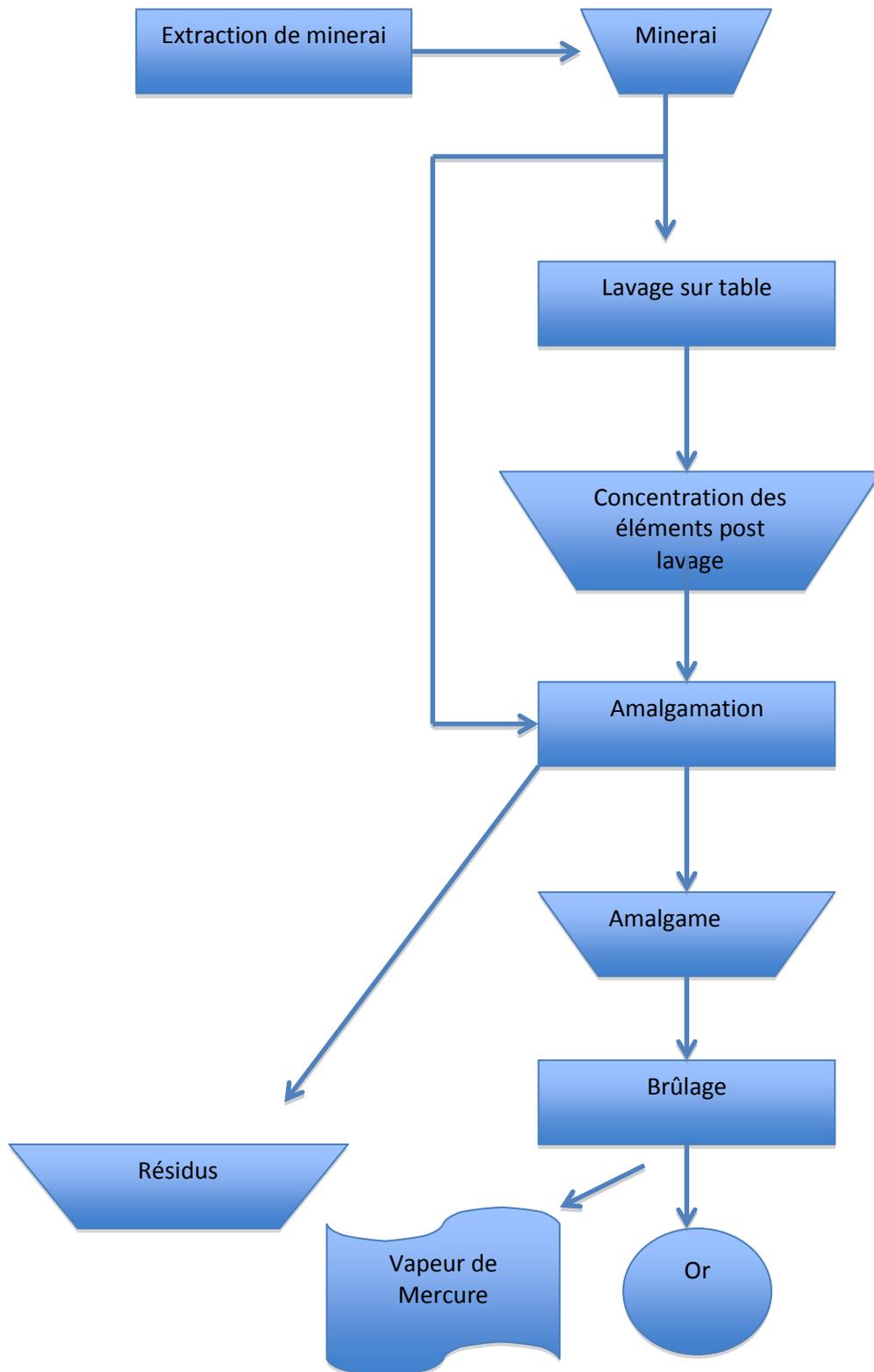


Diagramme 1 : Diagramme de traitement des minerais à Butuzi. Les écluses sont utilisées uniquement par des groupes de mineurs. Les mineurs indépendants utilisent l'amalgamation du minerai entier chaque fois qu'ils extraient un sac de minerai.



Photos 13 et 14 : Le PDG gère le mercure pour le site, qui est distribué gratuitement aux mineurs, puis recueilli dans la même bouteille ou seringue après que l'excédent soit compressé et sorti de l'amalgame

Sur la rivière Luzinzi, au-dessous de Butuzi et adjacent à Kaziba, des écluses sont creusées dans le lit de la rivière et bordées de grandes roches sur les côtés et d'écorce de bananier comme outil de concentration au milieu. Les mineurs arrosent les sables et les graviers contenus dans les pelles et les lavent en les plongeant dans le courant d'eau au sommet de l'écluse et en les lançant en l'air puis en les attrapant à plusieurs reprises successivement. Cela sépare les sédiments fins qui contiennent la poussière d'or recherchée qui est concentrée vu qu'ils s'écoulent vers le bas de la table de lavage. Les graviers lavés sont rejetés dans les piles de déchets.



Photo 15 : Reprise répétée des sables en bordure des champs agricoles du village

Site d'EMAPE à Some dans l'Ituri

Some est situé dans la province de l'Ituri, dans un plateau de la forêt équatoriale (<900 mètres) qui est encore relativement intacte mais sous pression croissante de déforestation. Le site d'EMAPE est adjacent à l'une des aires protégées les plus importantes de la RDC, la Réserve de faune à Okapis (RFO), également classée au patrimoine mondial de l'UNESCO, sur la liste du patrimoine mondial en danger depuis 1997. Situé à une distance de 25 à 30 kilomètres de la RFO, Some se trouve dans la zone tampon désignée de 50 km autour de toute la réserve.

Les mineurs dans la région de Some de la province d'Ituri pratiquent un mélange d'exploitation minière de type alluvionnaire et de roche dure, bien qu'apparemment seulement les mineurs de roche dure utilisent le mercure. Il existe une nette possibilité que les mineurs alluvionnaires se rendent compte de ce que le mercure puisse également améliorer la production d'or alluvial. Par conséquent, il est important de surveiller les opérations alluvionnaires et de leur fournir des méthodes plus productrices afin qu'elles aient de bonnes alternatives au mercure. Les mineurs alluvionnaires et les mineurs de roche dure laissent de grands trous vides dans la forêt dépourvue de terre arable. Cela crée un paysage marécageux avec des bassins stagnants, des sols gravillonneux et des cours d'eau perturbés.

Kafiawema, la principale zone minière de Some ici étudiée, est située à 30 minutes au Sud de Mambasa, principalement sur de bonnes routes non bitumées. Bien qu'il y ait un camp de mineurs situé sur le site minier, de nombreux mineurs vivent dans les environs de Some, qui est à environ 30 minutes à pied. La plupart des quelques 400 habitants de Some sont directement impliqués dans l'exploitation minière, bien que l'exploitation forestière de bois de haute valeur (souvent illégalement) et un peu d'agriculture (surtout de subsistance) soient également pratiquées.

Province de l'Ituri

Superficie : 65 658 km²

Population (estimation de 2005) : 4.2 million

Densité de population : 65 habitants / km²

Capitale de province : Bunia

Exploitation minière artisanale : presque entièrement de l'or

Production artisanale : environ 2 tonnes

Source : Site Officiel de la Province de l'Ituri (2016) : <http://provincetituri.info/> ; IPIS (2014) : Analyse de la carte interactive des zones minières artisanales de l'Est de la RD Congo

Exploitation minière artisanale de Kafiawema

Les corps minéralisés utilisés par les mineurs Kafiawema sont constitués de veines de quartz épaisses, dures et contiguës. Ce matériau est concassé séparément, transporté, et écrasé en morceaux « moulables », tous à la main.

À Kafiawema, la famille de l'actuel propriétaire terrien a découvert un filon porteur d'or derrière leur maison, de sorte que le campement tout entier est déplacé pour permettre l'exploitation du nouveau filon. Apparemment, cette personne possède maintenant un titre provincial légal sur les agrégats miniers (pierres, graviers, sable) pour ce site. De la même manière, les autorités provinciales utilisent des licences d'exploitation de carrières pour couvrir également les mines d'or (dont le mandat relève normalement du gouvernement central). Le déplacement de leur campement pour étendre leur exploitation minière signifie une ultérieure coupe à blanc portée à la forêt tropicale équatoriale.



Photo 16 : Les mines à ciel ouvert ne peuvent fonctionner que lorsque l'eau est pompée et que les parois des cuvettes sont stabilisées. Cela impose des limites à la profondeur de l'exploitation et élargit la zone qui doit être défrichée pour maintenir le même nombre de mineurs au fil du temps. Les fosses sont creusées avec des outils à main et l'eau est enlevée avec des pompes à essence

Traitement des minerais à Kafiawema

Les mineurs de Kafiawema utilisent un broyeur à sec avec des billes en acier. Le broyeur et les billes sont visiblement usés. Il n'existe pas de contrôle de la vitesse du broyeur, bien que les mineurs contrôlent la taille de la production du broyeur en utilisant un tamis d'environ 1 mm. Il s'agit approximativement d'une taille discriminante appropriée pour la plupart des applications de concentration primaire. Néanmoins, la taille de contrôle précise ne peut être évaluée que par une analyse granulométrique formelle.

Il s'agit d'une analyse relativement simple qui serait normalement effectuée au cours de la phase de démarrage et de planification d'un projet. Au lieu de retourner du matériau surdimensionné au broyeur pour un broyage ultérieur, les mineurs le remettent plutôt aux meuniers manuels. Ces meuniers utilisent une variante de métaux avec la méthode traditionnelle du mortier et du pilon tel lorsque l'on pile la farine de manioc à la main.

À Kafiawema, la poudre issue du broyeur à sec est mélangée avec de l'eau pour créer une suspension qui sert à alimenter une écluse au travers d'une petite bassine perforée par des trous de 1 à 2 cm dans le fond. Cela crée un écoulement quelque peu contrôlé de matériau sur l'écluse. Heureusement, ils n'imprègnent pas initialement les tapis avec du mercure, donc cette première étape n'est pas l'amalgame du minerai entier.



Photo 17 : Cet ancien moteur diesel doit régulièrement être alimenté en huile neuve pour être maintenu en marche. La capacité des mineurs à improviser ce système archaïque de broyeur fonctionnel démontre leur capacité à apprendre à manipuler des équipements pour des meilleures pratiques

Ensuite, l'amalgame qui en résulte est brûlé sur un feu de charbon de bois avec des feuilles vertes couvrant l'amalgame pour piéger une partie du mercure qui s'évapore. La plupart du mercure est perdue, mais la petite portion prise sur les feuilles est lavée dans la bassine et davantage de mercure est ajouté en vue d'absorber le mercure récupéré plus aisément. Des techniques de concentration sous-optimales entraînent inexorablement des récupérations d'or très faibles. Cette conclusion est

corroborée par le fait qu'ils peuvent retraiter plusieurs fois les résidus de manière productive (tout en utilisant bien sûr le mercure). Les mineurs n'ont pas d'autre moyen d'évaluer leur productivité par unité de minerai parce qu'ils n'étudient pas le contenu en vrac du matériau primaire (aussi appelé « grade de tête »).

À Kafiawema, l'équipe d'évaluation n'a ni été en mesure d'observer la production d'or à partir du concentré de l'écluse une fois que le minerai broyé est sorti du broyeur à billes, ni d'inventorier le mercure utilisé dans l'amalgamation du concentré des écluses de ce matériau. Cela est malheureux, car c'est sans doute là que la plupart de l'or est produite, cependant les quantités attendues n'étaient pas vendues au comptoir d'achat d'or légal du projet PAC⁷. Il semblait y avoir une méfiance et un soupçon erroné selon lequel le but réel de ce projet était d'acheter l'or et tirer profit de son exportation. Cette opinion a été expressément indiquée par les mineurs lors de la consultation communautaire à Butuzi, et le personnel du projet a indiqué que c'était une perception parfois rencontrée à Some aussi. Lors d'une occasion pendant laquelle l'écluse n'était pas utilisée, l'on a observé que le plan de lavage était revêtu d'une moquette synthétique optimale pour la concentration du minerai primaire, au lieu des serviettes et des tapis de laine utilisés par d'autres. Lorsqu'on lui a demandé, le PDG a dit qu'ils ont obtenu ces tapis d'une mine formelle à proximité. Il serait très utile d'analyser cela comme une source possible de meilleurs tapis pour les écluses au niveau local, ou potentiellement un distributeur local.

Le « propriétaire » du minerai (à Kafiawema, c'est la personne qui a découvert la veine de quartz) conserve les résidus en guise de paiement de droit d'exploitation et aussi pour la distribution gratuite de mercure aux mineurs. Les résidus miniers de tous les procédés précités sont retraités 6 fois ou plus en utilisant plus de mercure à chaque fois. Tous les mineurs sont tenus de vendre leur or au PDG, qui probablement en recueille aussi une fraction comme redevances pour le « propriétaire ».



Photo 18 : Retraitement continu des résidus miniers. Notez l'absence d'entreposage organisé de résidus ou de contrôle des effluents

⁷ La Maison d'achat modèle du projet Or juste de PAC agit comme acheteur local légal pour l'or artisanal, en l'achetant à des prix compétitifs, en le conditionnant et en vendant de l'or à un exportateur légal partenaire (comptoir).



Photos 19 et 20 : Ceci (à gauche) est probablement un maillage approprié pour le minerai de Kafiwema (environ 1 mm), au moins pour le broyage primaire. Les analyses granulométriques indiqueraient mieux la taille optimale. Broyage secondaire au mortier et au pilon (à droite)



Photo 21 : À Kafiwema, la pente de cette rampe de lavage pourrait être optimisée et les deux sections de la rampe devraient être disposées en configuration L ou Z pour forcer le débit à s'arrêter et à redémarrer (la majeure partie de l'or est prise dans le premier mètre de la rampe, faire un virage rendrait plus efficace la longueur utile de la rampe)

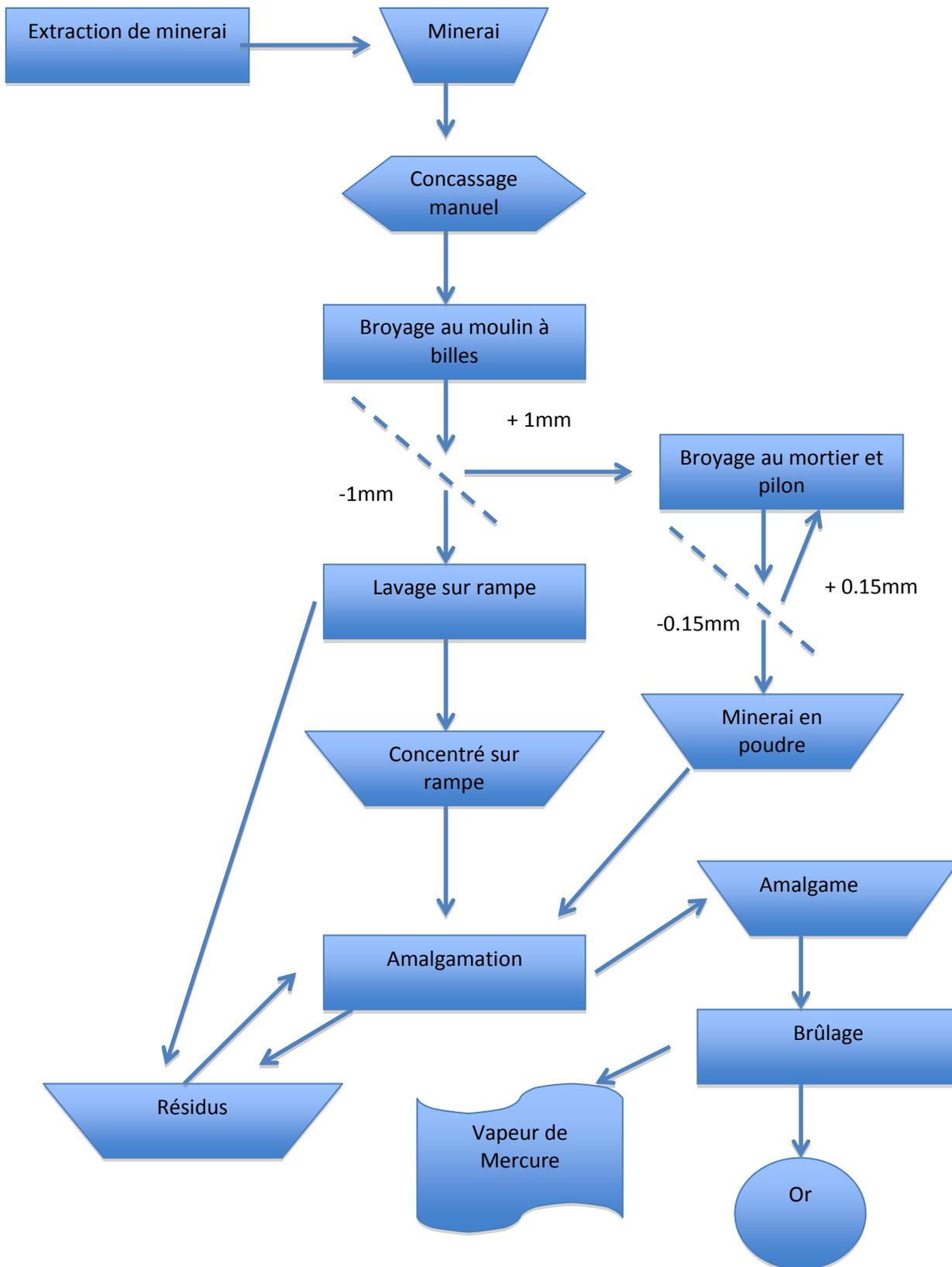


Diagramme 2 : Diagramme du traitement des minerais à Kafawema. Les tamis (symbolisés par des lignes diagonales en pointillés) sont utilisés pour contrôler la taille du matériau qui passe à la rampe de lavage et au broyage manuel. Les résidus sont souvent retraités 5 fois ou plus pour extraire de l'or.

2. Méthodes d'évaluation du mercure

L'évaluation des quantités et impacts de la contamination par le mercure a été effectuée par des enquêtes sur place, des réunions communautaires et des échantillonnages environnementaux (sédiments et poussières). Les enquêtes sur site comprenaient une mesure directe de l'utilisation et de la récupération du mercure à chaque étape de la transformation des minerais, ce qui fournit une estimation des émissions de mercure dans l'air et le sol / eau pour chaque gramme d'or récupéré sur le site.

La méthodologie d'évaluation comprenait :

- i) Des discussions et des entretiens avec des « coopératives minières » artisanales et des mineurs, des négociants en or, des représentants de l'administration technique minière et des autorités locales concernées par les enjeux prioritaires en matière d'environnement et de sécurité au travail ;
- ii) Un diagnostic en explorant le site pour cerner les problèmes environnementaux ;
- iii) La quantification des intrants et rejets de mercure, et l'estimation du rapport entre les pertes de mercure et l'or produit ;
- iv) La collecte d'échantillons de sol/sédiments et poussières. Au total, 57 échantillons ont été prélevés des deux sites comprenant 29 échantillons de sol/sédiments ; 26 échantillons de tampons et 2 échantillons géologiques. Tous les échantillons ont été expédiés au laboratoire Spiez en Suisse pour analyse.

En plus de ce travail à Butuzi et Some, des réunions de consultation ont été organisées avec des coopératives minières artisanales, des mineurs, des négociants en or, le ministère des Mines et les autorités locales pour expliquer les objectifs de l'évaluation environnementale du PNUE, les premiers résultats des visites sur le terrain et les recommandations potentielles pour des solutions correctives progressives. Ces réunions ont également permis de sensibiliser et de partager le matériel d'information sur les risques pour la santé et l'environnement liés à l'utilisation du mercure dans l'EMAPE.

Échantillonnage des sédiments

L'échantillonnage a suivi le plus fidèlement possible les [Protocoles d'évaluation environnementale et sanitaire du mercure généré par les mineurs opérant dans l'EMAPE](#) (Veiga et Baker, 2004). En général, les échantillons ont été prélevés du moins contaminé au plus contaminé des points, mais il n'a pas toujours été aisé de définir ces zones avec succès. L'agencement désordonné des opérations, les impacts mineurs des mines et les opérations en amont rendent difficile la recherche de points de contrôle originels. Les sites ont été choisis pour leur potentiel d'accumulation de mercure. Cela englobait des zones calmes le long des berges des rivières où les sédiments fins s'accumulent (par exemple à l'intérieur d'un méandre), des bassins d'amalgamation et des zones de dépôt de résidus miniers ou sédiments provenant des écluses et de l'amalgamation.

La majorité des échantillons était constituée de boues de rivière ou d'amalgamation et des sables recueillis sous l'eau stagnante. Les échantillons de bouteilles ont été obtenus en prélevant un échantillon composite de plusieurs truelles remplies de sédiments de lit de ruisseau submergé, le

plus souvent à proximité des berges des ruisseaux, où l'eau a régressé et a laissé tomber sa charge fine.



Photo 22 : Échantillonnage de sédiments provenant des bassins d'amalgamation.

Chaque échantillon de sédiments prélevés des 4 - 6 endroits étaient de 10-20 cm de hauteur de sédiment, en mélangeant à peu près des quantités égales de sédiments de profondeur et de surface. Chaque échantillon a été mélangé dans un sac en plastique et les sacs servant au mélange ont été utilisés une seule fois, et la truelle a été remplacée après chaque site visité pour empêcher la contamination par échantillonnage sur le terrain. Une fois homogénéisé de manière visible, le mélange a été versé dans le récipient d'échantillonnage, en prenant soin de prélever du matériel provenant du haut, du milieu et des lies du sac de mélange d'échantillon. Chaque échantillon a été étiqueté avec les coordonnées géographiques, l'heure d'échantillonnage, le numéro d'échantillon, la description du contexte par rapport au site minier, les caractéristiques des rivières ou des sédiments et d'autres aspects du site d'échantillonnage. Les bouteilles ont ensuite été hermétiquement scellées et emballées dans deux sacs en plastique eux-mêmes hermétiquement fermés en tordant et attachant.

Échantillonnage de poussière

L'échantillonnage de la poussière a été effectué en portant des gants en caoutchouc pour éviter la contamination pendant la manipulation. L'échantillon a été étiqueté avec les coordonnées géographiques, le temps d'échantillonnage et la description du site échantillonné. L'échantillonnage s'est concentré sur la recherche de sites proches des lieux de brûlage d'amalgames, comme dans les lieux de résidence, y compris les cuisines, le comptoir de l'acheteur d'or et les étals des marchés environnants, les kiosques d'alimentation et les arbres près des endroits de brûlage. Les sites de collecte de poussières ont toujours été prélevés dans des endroits ombragés où l'exposition solaire

ne serait pas capable d'évaporer le mercure (comme les poutres de toiture, les étagères, les sous-toits ou les murs à l'ombre de façon permanente ou sujets à l'éclairage artificiel).



Photo 23 : Prélèvement d'échantillons d'écouvillons sur les étals de marché à proximité desquels se déroule le brûlage en plein air de l'amalgame

Inventaire du mercure

Le site de Butuzi est un endroit difficile pour réaliser un inventaire de mercure. Les mineurs utilisent souvent d'infimes quantités de mercure (< 1g) pour récupérer de minuscules quantités d'or. Les masses impliquées avoisinent la limite de détection effective de la balance électronique qui est utilisée. Celle-ci est d'ailleurs supérieure à la précision indiquée par le fabricant, qui est de 0,01 grammes, et ceci en raison des difficultés à trouver un sol plat et des effets de rafales de vent (qui produisent des pressions pour la plage de 0,02-5 g). Les forts tourbillons de vent culminent plus tard dans la journée lorsque les mineurs amalgament le minerai.

Pour contrer cette instabilité, un sac de plastique rempli de sable a été posé et aplati au sol et la balance a ensuite été introduite dans le sac de manière à être à un niveau stable. À l'avenir, un petit niveleur circulaire devrait être utilisé pour s'assurer de l'équilibre de la balance. Un couvercle en plastique transparent ou un bol en verre doit alors être placé au-dessus de la balance pour bloquer le vent pendant l'enregistrement de la masse.

Les mineurs ont également tendance à procéder aux opérations d'amalgamation à peu près au même moment, de sorte qu'après le processus d'amalgamation d'un mineur, il est souvent impossible de voir celui des autres. Pour rendre les choses plus compliquées, il y a généralement un homme qui approvisionne tous les mineurs en mercure, de sorte que l'on ne peut pas simplement suivre le changement de poids du flacon de mercure pour mesurer la quantité de mercure récupéré. Une fois que cet homme fournit du mercure à un mineur, il en profite pour en donner plus à un autre, puis récupère le mercure d'un autre mineur et éventuellement donne plus de mercure à un

troisième mineur. Cela rend difficile le suivi du mercure récupéré. En outre, la poussière et les grains de saleté adhèrent parfois à la gouttelette de mercure, ce qui peut ajouter une masse relativement importante au mercure récupéré compte tenu de la petitesse que peut avoir la goutte de mercure récupérée.



Photo 24 et 25 : Inventaire de mercure utilisant une balance électronique pour mesurer le rapport entre la perte de mercure et l'or produit

Par conséquent, il est parfois nécessaire d'utiliser un morceau de papier pour contenir le mercure ou l'amalgame récupéré. Le mineur, cependant, mouille souvent ou fait tomber des particules de minerai ou de boue sur ce papier lors du transfert du mercure sur le papier. La solution consiste à tarer la balance avec le papier sur celle-ci, puis à mesurer le papier vide après pour voir le changement de masse dû à la contamination pendant le transfert de mercure / amalgame.

Malheureusement, une balance de précision plus élevée aurait des exigences encore plus élevées pour le nivellement et n'est probablement pas pratique pour ce type de terrain. En outre, le mercure est utilisé et stocké sous l'eau, il est donc important de séparer l'eau avant de mesurer le mercure. Une éponge en plastique souple peut être passée à la surface du mercure, ce qui permettra d'extraire l'eau, mais pas le mercure.

3. Analyse des résultats

Le mercure a été trouvé dans tous les contextes où il était attendu, bien que les concentrations soient relativement faibles par rapport à celles enregistrées dans des communautés minières artisanales d'autres pays. Ceci reflète le fait que les mineurs locaux ne brûlent pas l'amalgame à l'intérieur, ni utilisent le mercure au-delà de la quantité d'or qu'ils peuvent récupérer. L'exploitation minière artisanale dans l'est du Congo crée un vaste réseau dispersé de contamination à faible teneur en mercure et des points chauds de sa transformation. Cela peut avoir une incidence sur la santé à long terme des écosystèmes et des populations à travers de larges zones rurales et pauvres. L'exposition aux vapeurs de mercure est un problème d'autant plus aigu pour les mineurs eux-mêmes et pour ceux qui vivent et travaillent près des sites d'émission de mercure liée à l'activité minière dans les campements de mineurs, les villages et les villes. Toutes les valeurs sont mesurées en mg/kg (équivalent à ppm). Les résultats analytiques complets sont donnés dans les annexes. Les niveaux normaux dans le sol varient de 0,05 à 0,08 µg/g (Veiga et al., 2004). Étant donné que la RDC n'a pas établi de normes pour le mercure dans le sol et les sédiments, les échantillons sont évalués par rapport aux valeurs directrices canadiennes et suisses.

Tableau 2 : Valeurs des lignes directrices sur la qualité des sols et des sédiments au Canada et en Suisse (mg/ kg)

	Canada		Suisse	
	Mercure	Arsenic	Mercure	Arsenic
Sol	6,6	12	0,5	Aucune valeur dans la législation pour la protection des sols
Sédiments d'eau douce	0,17	5,9	0,5	Aucune valeur dans la législation pour la protection des sols



Carte 5 : Camp du site minier de Kafiawema montrant les sites d'échantillonnage du mercure. Image Google Earth



Carte 6 : Sites d'échantillonnage du mercure de Butuzi. Images Google Earth



Carte 7 et 8 : Centre-ville de Bukavu et marché Katudu (Kaziba). Images Google Earth



Carte 9 : Carte présentant une vue d'ensemble de la zone de Mbembese / Kafiawema / Some. Images Google Earth



Carte 10 : Carte du site d'échantillonnage de mercure de Mbembese, montrant de vieux puits miniers alluvionnaires non remplis à l'est. Images Google Earth

Analyse des sédiments

Les concentrations dans le sous-sol (0,018 - 0,34 mg/kg) dans la région du Kivu sont élevées, mais bien en deçà des normes internationales. Les concentrations dans les sédiments dans la région de la rivière Luzinzi (0,064 - 0,091 mg/kg) dans laquelle tous les mineurs de Butuzi déversent leurs effluents contaminés et des centaines de mineurs alluvionnaires artisanaux pratiquent l'amalgamation, dépassent les niveaux de référence en aval de la ville de Kaziba. L'arsenic naturel libéré par l'oxydation des minéraux sulfurés dans les résidus miniers a considérablement augmenté. Des concentrations d'arsenic dans les sédiments 10 ou 20 fois supérieures aux valeurs recommandées ont été détectées dans la rivière Luzinzi, ce qui pose un risque potentiel pour les populations en aval. Les bassins d'amalgamation du site minier de Butuzi sont riches en mercure (jusqu'à 3,6 mg/kg) et en arsenic (14000 mg/kg), or ces bassins débordent et se déversent périodiquement dans le Luzinzi.

Les concentrations de mercure dans le sous-sol, les sédiments et les roches sont faibles dans la zone Some et en amont du camp de Kafawema (environ 0,1 mg/kg). Les niveaux de mercure sont considérablement élevés dans les parcs à déchets (jusqu'à 6 mg/kg) et les sédiments immédiatement en aval des mines (jusqu'à 5 mg/kg). Le minerai de Kafawema contient des quantités importantes d'arsenic (jusqu'à 310 mg/kg), qui est libéré au cours du temps par oxydation dans les piles de déchets. Chaque site minier émet des résidus et pratique l'amalgamation dans ou près de cours d'eau douce qui sont lents ou stagnants et riches en composés organiques dissous, favorisant ainsi la génération de complexes de mercure réactifs, mobiles et biodisponibles.

Analyse de la poussière

L'échantillonnage d'écouvillon montre que les concentrations de mercure dans le marché de Katudu (près de la ville de Kaziba, où une grande partie de l'or de Butuzi est vendue) augmentent (de 0,2 à 1,7 mg/kg) au fur et à mesure que l'on s'approche des points d'achat où l'amalgame est brûlé à ciel ouvert, en dépit du fait que les mineurs brûlent leur amalgame sur le site minier en premier. Les preuves de la contamination des poussières par le brûlage à ciel ouvert montrent que les concentrations de mercure dans l'air sur le marché dépassent souvent très largement les valeurs directrices de l'OMS (1 microgramme par mètre cube, OMS 2003), ce qui constitue un risque important pour les personnes qui y travaillent. Les sédiments contigus contiennent également du mercure (0,3 mg/kg), bien que les concentrations ne dépassent pas les valeurs directrices. À Bukavu, les concentrations des écouvillons de murs près des cheminées des boutiques d'or (1,2 à 7 mg/kg) indiquent que l'or spongieux qui y est vendu là contient des quantités importantes de mercure qui pourraient mettre en danger des milliers de résidents urbains. On a également constaté que les écouvillons de poussière pris dans des huttes où le mercure est entreposé ou brûlé et sur les arbres près des sites de brûlage d'amalgame contiennent une teneur importante en mercure (2 à 1 200 mg/kg). Dans l'espoir de récupérer le mercure, les mineurs placent des feuilles vertes au-dessus de l'amalgame pendant le brûlage, or un échantillon de ces feuilles révèle qu'elles contenaient plus de 2 % de mercure en poids sec. Des dizaines de grammes de feuilles autant contaminées que celles-ci sont produites et jetées au hasard dans et autour des sites miniers tous les jours dans la région orientale de la RDC.

Inventaire de mercure

Un nombre adéquat (5) de bilans massiques de mercure a été entrepris sur les deux sites pour donner une idée générale de l'utilisation du mercure et des taux de libération, et le personnel local du projet PAC a été formé pour refaire ces bilans régulièrement. Ceci permettra d'établir une série chronologique plus longue de l'utilisation du mercure qui offrira une estimation plus fiable des rejets de mercure et permettra également de suivre leur réduction grâce aux changements de pratiques. En moyenne, les mineurs des deux sites ont rejeté plus de 4 grammes de mercure dans l'environnement pour chaque gramme d'or qu'ils produisaient. Un tiers de ce mercure est émis sous forme de vapeur et le reste est rejeté dans la terre et dans l'eau.

Tableau 3 : Inventaire de mercure à Butuzi (en grammes)

	Butuzi					Moyenne	
Mercure appliqué	0,31	0,72	0,84			0,12	0,50
Amalgame	0,06	0,32	0,14	0,20	0,47	0,31	0,25
Mercure récupéré	0,10	0,10	0,68				0,29
Or spongieux	0,03		0,08	0,11	0,25	0,05	0,10
Mercure perdu	0,24	0,94	0,22	0,09	0,22	0,38	0,35
Ratio Mercure : Or	8,00		2,75	0,82	0,88	7,60	4,01

Tableau 4 : Inventaire de mercure à Some (en grammes)

	Kafiawema			Some site 2		Moyenne
Mercure appliqué	6,01	5,88	5,3	12,13	5,47	5,06
Amalgame	0,13	1,22	0,68	0,75	1,2	0,58
Mercure récupéré	5,62	4,04	4,76	11,17	2,5	4,73
Or spongieux	0,08	0,56	0,29	0,36	0,46	0,25
Mercure perdu	0,44	2,5	0,93	1,35	3,71	1,11
Ratio Mercure : Or	5,50	4,46	3,21	3,75	8,07	4,25

4. Réduction du mercure

Les recommandations suivantes s'appliquent aux deux sites d'EMAPE. Les broyeurs⁸ et les cornues doivent être placés à au moins 500 mètres au-dessous de l'habitation, des lieux de cuisson des aliments et de toutes les activités non minières ; et aussi loin que possible des plans d'eau naturels. Le site de broyage devrait avoir un bassin d'évacuation dans lequel les résidus des écluses seraient recueillis, lesquels s'écoulent dans une série de bassins de sédimentation qui enlèvent progressivement les sédiments fins avant de se déverser. Un étang d'environ 5 m² de surface devrait être suffisant, car les résidus devraient être extraits périodiquement et retraités ou entreposés.

Le site de traitement devrait également avoir à long terme un parc à résidus qui soit plus haut et à au moins 500 mètres des plans d'eau, au-dessus de la nappe phréatique, creusé dans un sol argileux riche en fer. L'emplacement doit également être marqué avec des signes d'avertissement indiquant la présence de mercure et de danger lié aux produits toxiques. Cette excavation doit être bordée d'une couche d'argile fine riche en fer (rouge) ou d'une géomembrane pour réduire la percolation. Les puits miniers déclassés peuvent également être utilisés pour le stockage des résidus. Le site de traitement a également besoin d'un petit bassin d'amalgamation entouré de béton, peut-être avec des murs bas en brique pour rendre plus commode le lavage à l'écuille dans celui-ci. Seule la toute dernière étape de l'amalgamation du concentré obtenu doit être effectuée dans cet étang, isolant ainsi toutes les rejets potentiels de mercure.

Il devrait y avoir sur le site une cornue et une source de chaleur appropriées, de préférence une torche à gaz plutôt que la méthode traditionnelle au charbon de bois (cette dernière ne produit pas suffisamment de chaleur). Finalement, il devrait y avoir une torche de température suffisamment élevée pour fondre l'or directement au lieu d'utiliser du mercure. La cornue doit être stockée loin des maisons et des restaurants, et jamais dans les domiciles. Comme le broyeur, les résidus et le bassin d'amalgamation sont tous situés juste à la limite du site minier, la cornue est actuellement maintenue juste à l'extérieur des domiciles des mineurs, ce qui est une pratique dangereuse.

Réduction de l'exposition à la poussière

Les méthodes de broyage à sec utilisées à Kafiwema présentent un problème important de contamination par les poussières qui peuvent entraîner des problèmes de santé à court et à long terme. Par conséquent, le broyeur devrait être déplacé vers un site très en aval du camp minier. Il serait également avantageux de déterminer les vents dominants typiques de la zone pour s'assurer que la contamination par le mercure et la poussière est placée dans le sens du vent par rapport au village.

Amélioration du traitement des minerais pour éliminer l'utilisation du mercure

L'élimination de la contamination par le mercure et l'augmentation de la production d'or sont des objectifs compatibles ; en effet, celle-là est essentielle si l'on veut que les mineurs passent à de meilleures pratiques. Le mercure est le moyen le plus rapide, le plus facile et le plus fiable pour séparer l'or du minerai. En revanche, la concentration par gravité est plus longue, fastidieuse et perd

⁸ Le broyage n'est pas pratiqué sur le site Butuzi, mais cela peut être pertinent dans le futur à mesure que les activités minières se développent.

inévitablement de l'or, dans des proportions directement liées au degré de concentration atteint. Produire un concentré de haut grade (le grade étant la concentration d'or dans le concentré) entraîne des pertes d'or plus importantes que si l'on était satisfait d'un concentré de grade inférieur. Par conséquent, il est important de réformer l'ensemble de la chaîne de production pour améliorer la récupération de l'or en tirant parti des diverses inefficacités qui sont le produit des méthodes rudimentaires utilisées par les mineurs. L'augmentation de la production d'or par la fermeture des fuites significatives peut compenser les pertes subies par la génération de concentrés de qualité supérieure. Cela consiste à améliorer l'efficacité du broyage (dans le cas de l'exploitation de roche dure) afin de garantir que les particules d'or soient libérées de façon optimale du minerai (séparé mécaniquement du quartz et des autres minéraux), tout en ne broyant pas ces particules en formes et tailles qui ne peuvent être susceptibles de concentration par gravité. En outre, les pertes résultant de la concentration par gravité peuvent être réduites en optimisant les méthodes en fonction de la nature de l'or lui-même (répartition des tailles et formes des grains d'or). Aussi, il est important de concevoir une chaîne d'outils de concentration qui améliore les concentrés séquentiellement et capte les pertes d'or par recyclage et valorisation des résidus des maillons précédents de la chaîne.

Cela implique que des systèmes plus complexes doivent être mis en place de manière à acheminer les concentrés et les résidus vers des étapes ultérieures et ce, à des débits appropriés et cohérents. Une fois établis, ces systèmes nécessitent également moins de main-d'œuvre, ce qui permet aux mineurs de consacrer plus de temps à extraire le minerai du sol. En conséquence, ils fixent également des tâches plus techniques qui doivent être gérées par des personnes ayant un niveau de formation plus élevé, ce qui permet de diversifier le marché du travail au sein des camps et d'encourager la participation à la formation et à l'amélioration des compétences. Cette chaîne de transformation minérale réformée peut être construite maillon par maillon, en commençant par les méthodes les plus simples nécessitant un investissement et une formation moindres. Idéalement, les gains de chaque étape peuvent aider à compenser le coût de l'ajout de maillons supplémentaires dans la chaîne.

L'analyse des concentrations d'or dans leur minerai principal devrait être une priorité pour ce projet, car celle-ci peut montrer que l'or est perdu et que les alternatives sont plus efficaces. Il est important de noter que des déterminations précises de l'efficacité sont difficiles à obtenir sauf après de nombreuses répétitions sur une longue période d'exploitation. Cela permet de minimiser la variabilité due aux changements dans les grades de minerais et aux difficultés statistiques telles que « l'effet de pépite » qui concerne les minerais d'or en particulier. Néanmoins, des analyses minéralogiques initiales peuvent encore fournir des preuves suffisantes des gains potentiels en efficacité pour établir et justifier des modèles financiers d'unités de transformation adaptées à un minerai donné.

En particulier, la taille cible des grains broyés doit être déterminée par analyse en laboratoire et les matériaux surdimensionnés doivent être éliminés et réintroduits dans le broyeur ou broyés dans un autre broyeur. Ceci produira la libération optimale de l'or sans broyage excessif. Au lieu de broyer d'abord le matériau surdimensionné suffisamment pour les passer au tamis primaire (environ 1 mm de diamètre), les mineurs Kafiwema broient le matériau surdimensionné à un maillage beaucoup plus fin ($\sim < 0,1$ mm, probablement trop fin). Il en résulte des pertes d'or du fait que l'or est martelé trop plat pour une concentration efficace sur l'écluse et trop fin pour l'amalgamation. Ils utilisent la même technique pour le broyage au mortier et au pilon utilisé pour préparer les repas, et tamisent

le produit pour obtenir une poudre très fine séparant ainsi les grains secondaires pour un nouveau broyage. Il serait préférable de broyer toutes les particules de minerai à ~ 1 mm (ou à la taille optimale une fois que cette taille a été déterminée), puis retraiter les résidus de ce processus en une taille plus fine une fois que l'or a été retiré. Le matériau moulu à l'excès est également traité par amalgamation du minerai entier, conduisant à une contamination maximale au mercure pour des gains minimum. L'optimisation devrait se faire à travers une série d'expériences contrôlées avec de grands échantillons homogènes de minerai fractionné qui permettront aux mineurs / expérimentateurs de comparer directement la récupération d'or des différents essais. Il peut aussi y avoir des façons d'utiliser le « test » artisanal auquel les mineurs artisanaux sont familiers (pour lequel ils broient le minerai à la main avec un marteau et le concentrent dans une petite écuelle pour évaluer le contenu en or de l'échantillon) comme évaluation tierce du grade des concentrés résultants ou de la production du broyeur.

Les mineurs n'utilisent pas actuellement d'aimants pour séparer la composante magnétique de leur concentré, et parfois des grains de sable noir ayant adhérents à leur amalgame pourraient être observés. Agiter un gros aimant dans un tissu entourant le concentré de l'écuelle peut éliminer beaucoup de sables noirs, relevant ainsi le grade du concentré et améliorant l'amalgamation. En outre, il s'agit d'une étape importante dans la préparation du concentré pour la fusion directe (fusion du concentré pour séparer l'or sous forme de lingots).

En résumé, le traitement des minerais devrait être amélioré par les actions suivantes à chaque étape de la chaîne de transformation :

Concassage : s'efforcer d'obtenir une taille d'écrasement uniforme afin que le broyage se fasse uniformément. Un concasseur mécanique libérerait de la main-d'œuvre pour d'autres activités.

Broyage : optimiser la vitesse du broyeur, le flux de matière (y compris le rapport broyage intermédiaire, minerai et eau), utiliser un broyeur en milieu humide, remplacer le matériel de broyage usagé (billes d'acier) et optimiser le temps de broyage.

Concentration : Utiliser des tapis spécifiques pour écluses à la place des serviettes et couvertures, utiliser des tables vibrantes, des concentrateurs de type « blue bowl » et une écuelle pour relever le grade des concentrés au point où ils peuvent être directement fondus.

Plan d'action pour la réduction du mercure

Sur la base de la discussion ci-dessus relative à la réduction du mercure, un plan d'action structuré est proposé pour les deux sites d'EMAPE. Le plan commence par des changements nécessitant le moins d'investissement et de formation, suivis de changements progressivement plus coûteux et plus complexes qui peuvent être ajoutés lorsque les mineurs sont prêts à franchir l'étape suivante. Des consultations avec les mineurs et les communautés locales devront être organisées afin d'obtenir leur point de vue et leur adhésion au plan proposé. (Voir aussi le diagramme de flux pour le traitement des minéraux des deux sites).

Action immédiate :

1. Promouvoir l'utilisation de cornues ou de hottes pour récupérer le mercure et réduire l'exposition ainsi que l'inhalation de vapeurs toxiques de mercure. Les mineurs doivent cesser d'utiliser les feuilles comme une cornue.
2. Promouvoir la concentration et la fusion directe comme alternative à l'amalgamation du minerai entier.
3. Améliorer l'approvisionnement en eau et la gestion des déchets à l'aide de réservoirs imperméables, le remplissage des anciens puits et la réorganisation des activités de traitement. Cela permettra d'isoler les rejets de mercure et de réduire l'infiltration d'eau dans les zones où s'amorcent des glissements de terrain.

Objectifs à moyen terme :

4. Analyser la minéralogie du minerai d'or pour guider les changements dans les méthodes de transformation à la fois pour le broyage et la concentration par gravité.
5. Optimiser l'alimentation du broyeur, la vitesse, la durée et le contrôle de la taille des grains, en utilisant également des essais contrôlés participatifs (y compris l'installation et la comparaison des équipements de broyage existants).
6. Améliorer les pratiques de lavage sur rampes existantes en optimisant la vitesse d'écoulement, le débit de l'alimentation et les turbulences grâce à des essais participatifs et contrôlés sur site.
7. Essai sur terrain des différents dispositifs mécaniques de concentration sur site, en commençant par des tables vibrantes, des spirales, des concentrateurs type « blue bowls », et des dispositifs de compression, en utilisant des essais à court terme d'équipement de laboratoire (qui peut également être utilisé pour améliorer les concentrés primaires pour permettre la fusion directe).

Objectifs à long terme :

8. Mettre en œuvre de meilleures pratiques de broyage en milieu humide et de procédés de concentration. Parmi les options possibles, mentionnons l'utilisation de l'unité de transformation à petite échelle implantée au Burkina Faso par Artisanal Gold Council, comme modèle⁹.

⁹ Voir [AGC Burkina Faso Update report](#) et la vidéo [Emploi de l'Or Artisanal pour l'Aide au Développement](#).

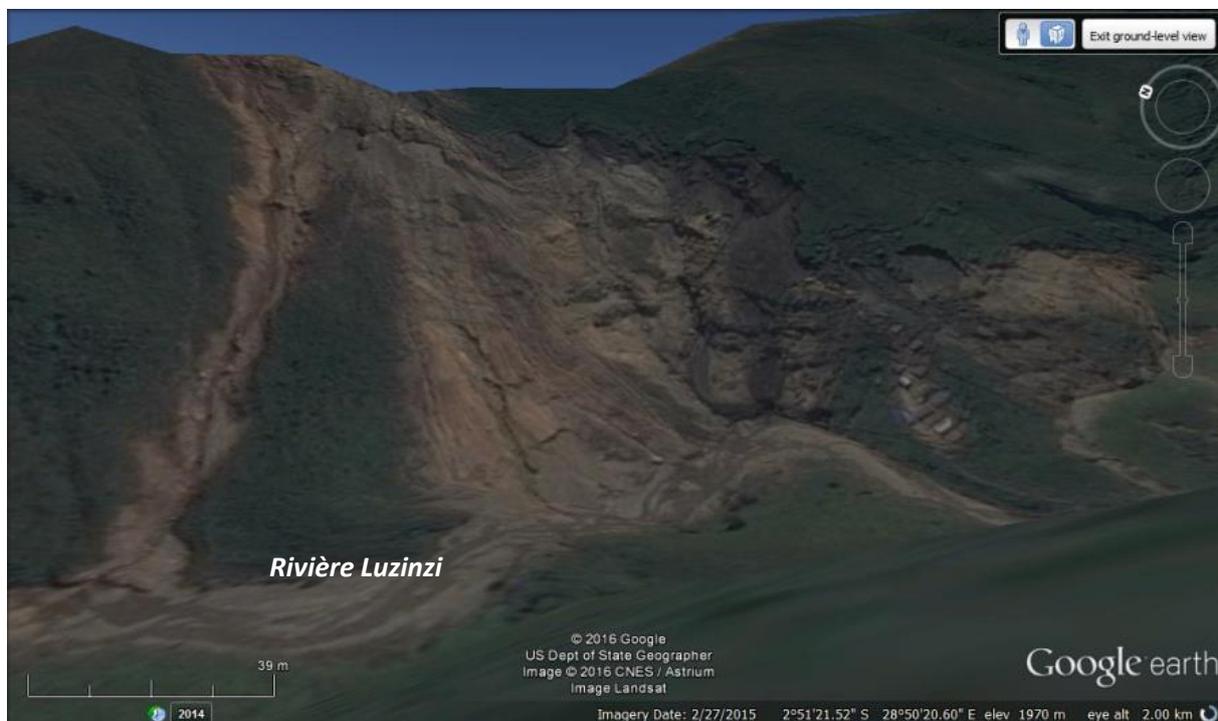
9. Utiliser le tranchage et le lavage à batée (à la base), et potentiellement aussi l'instrumentation géophysique moderne (comme les suivis électromagnétiques ou autres) pour étudier les réserves d'or et planifier les activités minières.



Photo 26 : Prélèvement d'échantillons de sédiments du lit du Luzinzi où se déroule l'exploitation minière alluvionnaire

5. Butuzi : stabilisation des pentes et atténuation des risques

La stabilité des pentes est un problème complexe et une menace imminente. De larges fissures sont visibles dans les pentes adjacentes à l'est du site principal de Butuzi, indiquant qu'un grand glissement de terrain destructeur est inévitable. L'éroulement de la pente détruira plusieurs bassins d'amalgamation, des entrées de mines et des cabanes en dessous, et mettra en danger la vie des mineurs qui travaillent dans la rivière en contrebas. Cela se produira probablement pendant une période de pluies abondantes et soutenues, ou après de courtes rafales d'intenses précipitations ; une situation très fréquente à Butuzi avec risque relativement faible de déclenchement d'un événement donné. Le glissement de terrain peut aussi être déclenché par un tremblement de terre ; quasi-certainement pour de grands tremblements de terre (magnitude 4 et au-delà), qui restent des événements imprévisibles et de basse fréquence.



Carte 11 : La dégradation massive des pentes provoquée par l'exploitation artisanale sur le site de Butuzi souligne le risque d'un glissement de terrain « catastrophique », qui endiguerait la rivière Luzinzi et provoquerait des inondations dévastatrices en aval. Images Google Earth

Les mineurs ont déjà tendance à éviter de travailler pendant les fortes pluies, ce qui devrait être encouragé et renforcé. En cas de glissement massif, cela pourrait endiguer la rivière en contrebas, potentiellement à une hauteur importante car la vallée est escarpée et la rivière n'a qu'un espace étroit pour s'écouler. Le barrage temporaire ainsi créé construira un grand réservoir à son arrière, ce qui peut nécessiter l'évacuation des zones à basse altitude le long de la rivière Luzinzi où une grande partie de l'agriculture de Kaziba Chefferie se déroule et où certaines personnes ont bâti des maisons permanentes. Cela peut prendre des mois avant que le barrage ne cède, et l'inondation catastrophique pourrait entraîner la mort de centaines et même de milliers de personnes si elles ne sont pas évacuées à temps. Une superficie importante des plantations et champs pourrait être

emportée ou recouverte de débris, rendant la culture impraticable sans efforts significatifs de débouillage.



Photo 27 : Les fissures visibles sur les pentes de montagne en haut à gauche et à droite de cette image sont un signal alarmant d'effondrement imminent

Le renforcement significatif actuel du site minier par l'usage de structures d'ingénierie conventionnelles est probablement prohibitif et coûteux, avec peu de chances de succès. Les roches sont brisées et altérées à la fois par l'altération tropicale et par les processus d'altération géothermique qui ont placé l'or en surface. À l'intérieur des tunnels miniers, la roche ne semble pas devenir plus solide, mais est plutôt mal consolidée et profondément altérée. Non seulement cela représente un risque extrême d'effondrement de tunnel même sans un événement sismique, mais aussi cela signifie que l'instabilité de pente est trop profonde et est trop omniprésente pour utiliser le boulonnage de roche ou d'autres techniques industrielles lourdes. Dans tous les cas, il serait peu pratique de se procurer les équipements nécessaires à ce type d'ingénierie sur ce site distant.

Dans ces circonstances, les catastrophes sont inévitables. En effet, un glissement de terrain l'année dernière aurait causé plusieurs morts. En effet, les blessures ou les décès sont probablement dues à des chutes de pierres provenant des mineurs qui opèrent les uns au-dessus des autres, vu que personne ne porte de casque et qu'il n'y a pas de planification des opérations minières. Apparemment, les mineurs sont disposés à abandonner certaines zones seulement pour diminuer les risques encourus par les autres mineurs, ou à travailler par quarts rotatifs. Dans la pratique, il peut être difficile de s'entendre ou d'appliquer cela, mais cela doit néanmoins être poursuivi dans le cadre de la planification des activités de la mine.

Les techniques de bio ingénierie offrent une option relativement facile et peu coûteuse pour la stabilisation de la pente. L'herbe de vétiver (*Chrysopogon zizanioides*) est un bon élément pour aider à stabiliser les pentes abruptes du site minier de Butuzi. Bien que classé comme une herbe, les

plantes de vétiver utilisées à des fins de stabilisation des terres ressemblent plus à des arbres à croissance rapide ou des arbustes. Leur système racinaire vaste et finement structuré peut s'étendre de 2 à 3 mètres dans la première année atteignant jusqu'à huit mètres. Bien que certaines des pentes exposées soient des roches dénudées ou des pentes de schiste mou, les couches rocheuses sont généralement profondément endommagées par de nombreux points faibles au travers desquels les racines profondes et à croissance rapide du vétiver peuvent pénétrer. En plantant le vétiver, chaque plant à une distance très étroite de l'autre, aux emplacements critiques (par exemple le long de la partie supérieure de la mine et le sentier), des haies denses peuvent être créées pour renforcer structurellement la pente, ralentir et étendre le débit d'eau pour aider à contrôler l'érosion. Enfin, il convient de noter qu'il existe une bonne expertise en RDC sur l'utilisation du vétiver pour la stabilisation des pentes et le contrôle de l'érosion qui peuvent être utilisés pour ce projet.



Photo 28 : Les puits de collecte d'eau situés au-dessus du site minier de Butuzi augmentent l'infiltration dans les zones d'initiation des glissements de terrain

Le contrôle du drainage est l'autre principale méthode qui peut être utilisée pour atténuer l'instabilité des pentes et les glissements de terrain sur le site minier. La construction d'une grande citerne en béton armé et d'un système de collecte des eaux de pluie sur la colline au-dessus du site minier pourrait fournir aux mineurs une source d'eau propre plus importante et plus fiable qui n'aurait pas d'impact sur la stabilité des pentes et pourrait servir à alimenter les mineurs par gravité. Idéalement, la citerne devrait être située sur la face est du sommet de la mine de Butuzi, à l'élévation où le sentier d'approche oriental descend dans le site minier, mais plus au sud de sorte que s'il échoue, il s'écoule du site minier. Des tuyaux fixes doivent être raccordés à la citerne au sommet du site minier d'où les gestionnaires de l'eau peuvent se connecter à un collecteur à buses auquel ils peuvent raccorder leurs tuyaux. Les bassins creusés à la main pour canaliser l'eau vers les rampes doivent être arrêtés et remplacés par de grands tuyaux.

Les puits d'eau existants devraient être remplis, peut-être avec de la matière issue de la creusée pour créer la nouvelle citerne, et reboisés avec du vétiver ainsi que quelques arbres idéalement. Toutefois, si les mineurs sont réticents à cesser d'utiliser les puits d'eau existants, ces derniers devraient être revêtus et renforcés par des sacs de sable, terrassés puis reboisés de vétiver. Dans les deux cas, les haies et les arbres de vétiver doivent être plantés le long de toute la surface de la mine pour absorber les écoulements d'eau et renforcer les armures du sol contre les écoulements superficiels élevés et réduire l'infiltration rapide pendant les tempêtes.



Photo 29 : Les tuyaux sont parfois utilisés pour fournir de l'eau pour les opérations de traitement sur place ; un défi majeur et un coût pour les mineurs

En dehors de l'approvisionnement en eau actuel, le site principal de Butuzi semble ne pas avoir de fissures majeures dans le sol où la terre instable sous tension se détache loin de la montagne. Des bâches peuvent être posées sur les fissures dans les endroits où c'est le cas, avec la marge supérieure de la bâche creusée en diagonale dans le sol de surface pour capturer tous les ruissellements de surface et les ruisseaux éphémères. La marge inférieure des bâches doit être bordée de canaux en plastique qui alimentent les citernes de stockage d'eau de pluie situées aussi loin que possible de la pente perturbée.

Les systèmes de dérivation d'eau de ruissellement dans les fissures sous tension et les citernes mentionnés ci-dessus pourraient alimenter les stations de lavage et d'amalgamation loin du site perturbé, réduisant ainsi l'exposition des mineurs à la défaillance de la pente sans les inciter à transporter leur minerai en hauteur. Il faut veiller à ce que des pistes bien drainées et blindées soient construites dans ces zones sûres pour éviter de créer de nouveaux risques liés à la stabilité. Le vétiver et les arbres doivent être plantés le long des sentiers et autour des zones de traitement pour réduire l'érosion.



Photo 30 et 31 : Un récent glissement de terrain suite à de fortes pluies a détruit plusieurs tunnels miniers



Un autre risque géotechnique important est que les tunnels non planifiés, non cartographiés et aléatoires affaiblissent davantage la pente globale et présentent de sérieux risques d'effondrement de tunnels par des mineurs creusant les uns en-dessous des autres sans le savoir. Même en l'absence de tels effondrements, l'insuffisance de l'appui des travaux souterrains (aggravée par la roche hôte mal consolidée et hétérogène) a déjà causé plusieurs effondrements. Des mineurs ont signalé plusieurs ouvertures de mines qui s'étaient effondrées. Au moins deux effondrements de tunnel ont fermé les accès souterrains depuis la réouverture des opérations en 2010. La mesure et la cartographie relativement simples des tunnels miniers existants peuvent être réalisées en utilisant une chaîne de hanche et une boussole. En surveillant les progrès de l'excavation, les mineurs peuvent être alertés lorsqu'ils risquent de compromettre le travail des autres.



Photo 32 : Les canaux creusés à la main sont une cause importante d'instabilité des pentes

6. Some : dégradation des forêts et perte de biodiversité

Perte de biodiversité

À Some, la déforestation et la perte de biodiversité sont potentiellement une préoccupation environnementale plus importante que la contamination par le mercure. Étant donné que l'exploitation minière artisanale se déroule dans une forêt tropicale primaire humide, avec sa richesse de biotopes et de nombreuses espèces, il est important de garder à l'esprit son empreinte environnementale plus large. La forêt d'Ituri est réputée pour sa flore et sa faune exceptionnellement diversifiées. Il s'agit de l'habitat privilégié des Okapi, une girafe de forêt endémique qui est un symbole national de la RDC. Parmi les autres espèces forestières spectaculaires et endémiques figurent le bongo, l'antilope nain, le buffle forestier, l'éléphant de forêt, le porc forestier géant, la genette aquatique et les chimpanzés. C'est aussi une zone exceptionnelle pour les oiseaux, y compris l'endémique paon du Congo.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, l'emplacement du site de Some dans la zone tampon désignée de 50 km de la réserve faunique d'Okapi pose un risque particulier. En effet, la réserve est potentiellement à l'extrémité réceptrice des charges de pollution par le mercure puisqu'elle se trouve en aval du site de Some le long de la rivière Ituri. Cela crée un risque de bioaccumulation du mercure dans la chaîne alimentaire tropicale, des bactéries aux poissons carnivores, aux animaux se nourrissant de poissons et, au final, à l'homme.

Les impacts primaires de l'exploitation minière artisanale sur la faune proviennent de la perte d'habitat causée par la destruction de la végétation et la dégradation des terres. La fragmentation de l'habitat qui en résulte est susceptible de perturber l'aire de répartition et les voies de migration de la faune. Le risque de conflits homme-faune et la propagation de zoonoses augmentent à mesure que les animaux sont déplacés et cherchent de nouveaux habitats. Les mineurs peuvent également être, de manière circonstancielle ou délibérément, impliqués dans le braconnage de la faune. En outre, les sites miniers, qui au fil du temps peuvent se transformer en villages, sont susceptibles de devenir des centres de consommation et de commerce de viande de brousse. Le commerce de l'ivoire, qui a explosé dans le nord-est de la RDC au cours des dernières années, est un autre sujet de préoccupation majeure.

La valeur élevée de conservation de la forêt tropicale de l'Ituri crée un contexte stimulant pour l'approche d'itinérance de l'exploitation minière à Some. La tendance générale de l'exploitation minière artisanale à empiéter à la fois sur la zone de conservation et celle de tampon complique davantage la situation. De plus, cette pression continuera vraisemblablement de croître avec l'immigration régulière des habitants des hautes terres densément peuplées.

Déforestation

À Kafiawema, les mineurs ont trouvé une veine d'or sous leur camp minier et ils ont donc détruit plusieurs hectares de forêt pour établir un nouveau camp. En effet, les mineurs défrichent la forêt de manière à ce que tous les arbres de la zone du campement soient abattus et qu'un petit nombre d'arbres restent debout. Les impacts environnementaux de la coupe à blanc vont de l'érosion des sols au risque accru d'inondation, à l'épuisement du puits de carbone et à la modification du microclimat. La télédétection pourrait être utilisée pour surveiller l'évolution et l'étendue de la déforestation causée par l'exploitation minière artisanale.



Carte 12 et 13 : Les images satellitaires prises en avril 2013 (ci-dessus) et en août 2015 (ci-dessous) révèlent l'expansion des zones de déboisement et des fosses minières alluvionnaires dans la zone Mbembese du site minier de Some. Images Google Earth

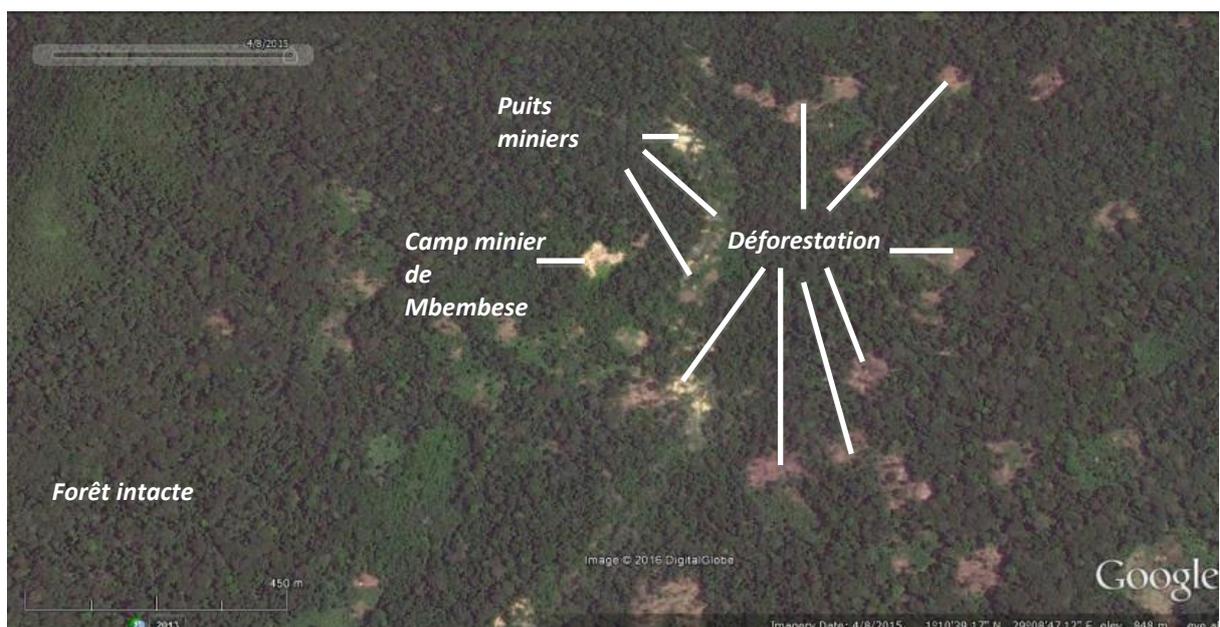




Photo 33 : Aux abords de la forêt équatoriale où un rapide rétrécissement connaît son apogée, les mineurs coupent et brûlent du bois de très haute valeur.

Atténuation de la dégradation des terres

De sérieux problèmes de patrimoine issus des travaux précédents ont également été observés. Dans la région de Some, de vastes fosses alluviales disposées de manière désordonnée et jamais refermées entachent le paysage. Cela crée des étangs stagnants qui empêchent une régénération forestière adéquate. Ces étangs augmentent considérablement le potentiel de méthylation (et donc de mobilisation de composés de mercure plus toxiques et biodisponibles) ainsi que la contamination héritée du mercure contenue dans les résidus et boues de fond laissés par les activités minières précédentes et augmentés par les activités minières actuelles qui se déversent dans ces vieux puits miniers. Bien que l'étude de ces problèmes environnementaux complexes dépasse la portée immédiate du projet « Or juste », un modèle minier durable doit progressivement concevoir une solution gagnant-gagnant qui équilibre les intérêts des mineurs avec ceux de la réserve et de son paysage environnant. Il convient également de souligner que les solutions techniques proposées doivent être abordables pour que les mesures correctives aient l'assentiment des mineurs, et soient diffusées et reproduites sur d'autres sites.

Des mesures d'atténuation des effets susmentionnés pourraient être encouragées au travers d'un accord du projet avec les mineurs sur la fourniture d'une assistance technique. Cela peut inclure des dispositions spécifiques favorisant :

1. Remise en état systématique et remblayage des fosses ouvertes après extraction. Les trous contenant des résidus contaminés au mercure doivent être recouverts d'un mètre d'argile ou de latérite, compactés, recouverts de terre et recouverts de végétaux.
2. Restrictions de la chasse et du commerce de faune sauvage, y compris en respectant la réglementation nationale sur les espèces en voie de disparition et la saison de chasse.
3. Approche sélective de l'abattage des arbres, informée par une assistance technique sur l'exploration et la planification minières.

Pour encourager les mineurs à mettre en œuvre progressivement les améliorations environnementales, le projet peut envisager d'offrir une « prime environnementale » et / ou une assistance technique supplémentaire aux mineurs qui démontrent la conformité environnementale. Les initiatives basées sur le marché pour l'or vert (par exemple l'or Fairtrade et Fairmined) peuvent être utilisées pour aider le projet à encourager une meilleure pratique environnementale. De telles initiatives devraient être entreprises dans une perspective d'inclusion du genre. Une sensibilisation et un suivi ciblés seront également nécessaires pour inciter les mineurs à améliorer l'environnement à court et à moyen terme.



Photo 34 : Après avoir payé un bûcheron illégal pour abattre des centaines de mètres cubes d'acajou africain et d'autres arbres tropicaux durant leur jour de congé, les mineurs achètent du bois scié et le transportent dans leur camp

7. Exploration minière

Pour chaque gisement d'une valeur d'un million d'onces qui intéresserait les mineurs industriels, il existe des milliers de gisement en surface qui pourraient nourrir des générations de mineurs artisanaux. Les mineurs artisanaux explorent généralement en marge des gisements existants en faisant des fouilles d'essai et le lavage à l'écuelle de petits échantillons pour trouver l'or visible. Beaucoup travaillent juste pour d'autres qui ont un titre de propriété ou de gestion des mines. La cartographie des structures sociales et organisationnelles réelles dépasse la portée de cette évaluation environnementale, mais il s'agit d'un sujet important qu'il faut étudier, d'autant qu'il a des implications importantes sur l'adoption de pratiques environnementales améliorées par les mineurs.

Les mineurs étendent les fouilles favorables dans une mine et continueront aussi longtemps qu'ils pourront répondre à ou dépasser leurs besoins quotidiens. Ils le font soit en ouvrant plus de gisements de surface latéralement, soit en poursuivant des gisements plus profonds dans le sol par la creusée des tunnels. Leur approche devrait être élargie pour inclure l'exploration, la fermeture de mines, la question sanitaire et la sécurité, ainsi que la planification des opérations minières. Les tunnels sont créés sans penser à la ventilation, à la stabilisation ou à l'emplacement et l'étendue des autres tunnels. Cela conduit à des effondrements de tunnels qui s'enchevêtrent les uns les autres, en plus de ceux qui existent naturellement. Des relevés spéléologiques des tunnels sont nécessaires pour suivre et éviter les ruptures artificielles.



Photo 35 : Ouverture d'un nouveau terrain d'exploitation. Des conseils techniques sont nécessaires pour aider les mineurs à localiser les gisements d'or et planifier l'extraction en conséquence

Les mineurs ont déjà des systèmes limités pour organiser le travail de réflexion prospective qui ne produit pas immédiatement de l'or. Par exemple, un grand nombre de travailleurs de Butuzi ont été observés en train d'excaver des morts-terrains à la recherche d'un nouveau minerai d'or en marge des travaux existants. De plus, à Kafiawema, de nombreux mineurs travaillaient à ouvrir de nouvelles excavations et à rembourrer des parties plus profondes de leur puit minier. Ce système d'organisation des rôles « improductifs » mais nécessaires au sein du groupe minier devrait être étudié afin de soutenir éventuellement des rôles « improductifs » élargis tels que l'exploration et la gestion des déchets. Non seulement ces rôles sont essentiels dans une exploitation minière plus ordonnée, formelle et écologiquement responsable, mais ils peuvent aussi contrebalancer le chômage qui peut être généré en remplaçant les méthodes inefficaces par des meilleures pratiques et méthodes de traitement de minerai.



Photo 36 : La pente raide à Butuzi pose de sérieux risques de glissements de terrain qui pourraient endiguer la rivière Luzinzi en aval

8. Sécurité au travail

Travailler dans les sites miniers de Butuzi et de Some est une activité à haut risque et dangereuse. Cela s'explique par le fait du terrain du site (pentes abruptes de montagne, tunnels à contreforts insuffisants, fosses profondes ouvertes, risques de travailler dans une zone couverte d'arbres abattus), le risque d'empoisonnement au mercure et l'utilisation très limitée d'équipement de protection individuelle (EPI) par les mineurs.



Photos 37 : L'exploitation minière en pente raide est un travail dangereux

Certaines mesures et pratiques de base peuvent être introduites pour améliorer les conditions de travail, qui doivent être accompagnées d'une formation et d'informations appropriées. Ceci comprend :

1. Utiliser des brouettes ou des chariots à main pour transporter les sacs de minerai.
2. Porter des gants solides (de préférence pas en latex) lors de la manipulation du mercure, en particulier lors du retraitement du résidu et dans l'amalgamation du minerai entier. Les gants doivent normalement être utilisés pendant tout travail humide.
3. Tout le mercure doit être stocké dans des récipients durables qui sont clairement étiquetés comme mercure et comme toxique, et recouverts d'une couche d'eau pour empêcher le mercure de s'évaporer.
4. Mettre des masques à poussière jetables et des lunettes de protection lors du broyage du minerai rocheux à sec. Notez que les masques anti-poussières doivent être remplacés régulièrement.
5. Des casques de sécurité devraient normalement être portés à tout moment sur le site, en particulier à Butuzi.

6. Fournir un équipement de premiers secours simple sur le site minier.
7. Encourager les mineurs à entreposer de l'eau potable et à construire une latrine saine à l'emplacement de la mine.



Photo 38 : L'exploitation minière en pente forte est un travail dangereux. Les casques de sécurité et l'utilisation d'équipements de protection individuels manquent

9. Obstacles à la formalité et piège de la pauvreté dans l'exploitation minière artisanale

Les mineurs artisanaux ont tendance à ne pas explorer les gisements d'or, mais plutôt à se rassembler dans des sites où l'or est déjà produit. De façon globale, la plupart des gisements d'or connus sont généralement des sites miniers orphelins, dont beaucoup ont été établis à l'époque coloniale et sont largement épuisés, bien que les gisements restants conviennent encore à ceux qui cherchent à sortir de la pauvreté. Certains gisements ont été désignés pour des programmes internationaux d'exploration minière dont le développement n'a pas eu lieu faute de justification économique ou d'autorisation sociale et qui ont ensuite été repris par des mineurs alertés par la présence de ces prospecteurs sur le site. Toutefois, les prospecteurs miniers industriels identifient peut-être plus fréquemment des cibles minières potentielles en recherchant des sites miniers artisanaux et en utilisant leurs fouilles et tunnels pour évaluer des gisements potentiels. Les prospecteurs procèdent ensuite à l'achat des droits miniers auprès du gouvernement ou du détenteur du titre légal, à l'insu des mineurs artisanaux qui opèrent sur le site. Ils font ensuite pression sur le gouvernement pour qu'ils utilisent les forces policières et militaires pour faire respecter leurs droits de propriété en chassant les « envahisseurs ».

Les mineurs artisanaux recherchent souvent des gisements entièrement différents de ceux qui intéressent les grandes sociétés minières ou des parties différentes des mêmes gisements. Les mineurs artisanaux poursuivent le minerai peu profond dans des veines de haute qualité clairsemées et bien définies (quant à l'exploitation de roche dure) ou dans des strates (relativement à l'exploitation minière alluviale) qui nécessitent peu d'investissement dans l'excavation et la mécanisation pour fonctionner. Les grandes entreprises utilisent ces gisements pour identifier et limiter les gisements de plus grande taille, plus profonds et de plus grande qualité, dont la production minière justifierait des dépenses en capital considérables pour exploiter le minerai au moindre coût et aux rendements les plus élevés. Souvent, les mines industrielles éliminent les « morts-terrains » (surplombant les « déchets » que les mineurs artisanaux exploiteront) afin d'accéder au gisement à plus grande échelle industrielle avec un grand puit à ciel ouvert. Ils appliquent une approche complète du cycle de vie des activités minières, dans laquelle le coût de l'exploration, de l'excavation, de la transformation, du stockage et de la gestion des déchets est comparé à la valeur nette de la production durant la vie de la mine.

Les réglementations gouvernementales, en particulier, les règles relatives à la délivrance de permis de propriété minière, sont souvent structurées pour favoriser les grandes exploitations minières industrielles. L'obtention du titre minier est souvent le premier obstacle rencontré par tout projet minier artisanal visant à la transparence, à la formalisation ou à la durabilité, et demeure globalement un obstacle vexatoire et difficile. Les gouvernements du Pérou, de la Colombie, de la Mongolie, du Guyana et du Suriname (entre autres), ainsi que la RDC, luttent activement contre ce défi avec un succès limité en raison de la désinformation et des intérêts concurrents qui participent aux initiatives nationales de changement de politique.

Dans les régimes de droits de propriété qui fonctionnent correctement, les titres miniers expirent si le titulaire ne fait aucun investissement dans l'exploration ou l'exploitation sur le site. Lorsque la corruption et les échappatoires le permettent, les titres sont souvent renouvelés ou maintenus

indéfiniment et toutes les concessions minérales connues et les plus prometteuses sont déjà revendiquées. Par conséquent, les mineurs artisanaux sont souvent qualifiés immédiatement de « mineurs illégaux » ou, lorsque leurs bénéficiaires sont acheminés vers le crime organisé et les groupes de conflits, de « mineurs criminels ». Il s'agit habituellement d'une grossière simplification (les mineurs artisanaux et à petite échelle en Colombie financent involontairement des groupes criminels via le racket), mais la perception conduit les assemblées du gouvernement à fixer des barrières législatives irréalistes à la formalisation et au développement du secteur minier artisanal. En conséquence, ces mineurs ne peuvent pas entrer dans l'économie formelle parce qu'ils ne peuvent obtenir le titre légal pour les gisements qu'ils exploitent déjà et sont incapables de négocier des accords équitables avec les concessionnaires existants.

Lorsque les mineurs ont conclu des contrats formels avec des concessionnaires légaux, leur manque de connaissances ou conseils juridiques peuvent conduire à des accords abusifs qui favorisent fortement le concessionnaire et établissent des arrangements féodaux perpétuant des pratiques dangereuses, inefficaces et polluantes tout en concentrant la richesse excessive dans les mains de détenteurs de titres éloignés. Dans ces cas, ces détenteurs de titres contrôlent également généralement l'approvisionnement en mercure et par conséquent peuvent voir sa réduction comme une diminution de revenus. En outre, les mineurs artisanaux n'ont généralement pas les compétences et les ressources nécessaires pour explorer les concessions disponibles, généralement si éloignées ou peu sécurisées rendant ainsi l'accès difficile (et ainsi fournissent des sources de financement sécurisées pour les groupes illégaux ou en conflit).

Un vide juridique dans l'exploitation minière artisanale et à petite échelle

Un approvisionnement en or transparent est, par nécessité, légal. L'or légal par définition provient des opérateurs de concessions légales, par conséquent, la formalisation et le titre minier sont la priorité la plus élevée pour tout programme d'or transparent. Les gouvernements provinciaux congolais gèrent actuellement des titres miniers artisanaux avec un vide juridique : une réinterprétation ingénieuse de la compétence provinciale concernant l'exploitation minière d'agrégats (carrières).

Les agrégats sont des gisements de roches non métalliques qui sont extraits pour le remblayage des routes, la production de béton et d'autres activités de construction. La désignation « non métallique » est généralement clairement spécifiée dans les législations minières d'agrégats, ainsi, l'actuelle manière de procéder peut ne pas être une réglementation intentionnelle. Dans d'autres cas, les exploitations artisanales sont assez semblables à celle d'extraction d'agrégats, principalement dans le sens où elles font souvent de l'extraction des matériaux mal ou non consolidés, proches de la surface avec une empreinte limitée. Par conséquent, les concessions d'agrégats (carrières) sont par définition petites, peu profondes, bon marché et disponibles. Lorsqu'elles se chevauchent avec des concessions de métaux précieux centralement administrées, il n'y a pas de véritable conflit d'intérêts parce que les grands exploitants ne s'intéressent aux gisements de surface autrement que comme indicateurs de grèves potentielles plus profondes. Cette différenciation est moins claire lorsque l'on considère les exploitants miniers alluvionnaires et à moyenne échelle.

Kafiawema est un bon exemple où les carrières sont utilisées pour l'exploitation semi-légale des métaux précieux. Un membre de la communauté creusait un puit pour latrine et a trouvé une veine

porteuse d'or. Plutôt que d'obtenir un titre minier national pour l'extraction de l'or qui aurait exigé un voyage à Kinshasa sans aucune certitude de pouvoir payer les droits dudit permis (en partie parce que la taille minimale de la concession peut être prohibitive et en partie parce que l'or est plus précieux que l'agrégat), les mineurs de Kafawema ont acquis un permis de carrière. Le projet doit approfondir les lois nationales et provinciales sur les concessions minières et les ententes fonctionnelles para-juridiques qui régissent l'exploitation des mineurs.

Les lacunes qui conduisent les règles de concession provinciales à contourner les règles fédérales peuvent être un bon point de départ pour identifier et harmoniser les règles de concession et établir un système de concessions clair, équitable, réalisable et entièrement légal accessible aux mineurs artisanaux. Le conflit de compétences pourrait être résolu en définissant des règles claires pour les prospecteurs du secteur industriel et les promoteurs désireux d'établir des concessions lorsque de petites concessions artisanales chevauchent des concessions administrées de manière centralisée. L'un des objectifs des organisations de développement minier artisanal est de trouver un moyen d'établir des accords formels entre les groupes miniers industriels et artisanaux où leurs intérêts sont en conflit potentiel (même s'ils sont intéressés par différentes parties du gisement). Ce genre de législation harmonisée pourrait être une première étape vers cet objectif, même si cela pourrait également réduire les investissements internationaux potentiels, car le secteur industriel craint les problèmes de responsabilité liés aux partenariats avec le secteur informel. Gran-Colombia Gold à Segovia, en Colombie, est un exemple d'une relation fructueuse entre les secteurs. Les opérations de Barrick Gold en Tanzanie offrent une étude de cas utile quant aux pires scénarios du secteur formel. Ce dernier cas est plus représentatif des relations entre les mineurs artisanaux et industriels dans le monde.

L'insécurité et la désorganisation de l'informel empêchent les mineurs d'investir dans l'exploration ou les meilleures pratiques, de peur d'être expulsés ou saisis par les autorités. Cela contraint à un mode de vie opportuniste, migratoire et marginal des mineurs, en plus de les maintenir dans la pauvreté. Ce projet doit étudier et assurer la vraie légalité des réclamations des mineurs avec lesquelles ils fonctionnent et utiliser les cas de succès pour concevoir et promouvoir l'examen et la réforme de la réglementation minière et provinciale afin qu'elle serve mieux et de façon plus réaliste les mineurs artisanaux et l'État.

10. Conclusions et Recommandations

Cette étude montre que le mercure peut être considérablement réduit et finalement éliminé en remplaçant le besoin en mercure par le traitement complet du minerai par les mineurs artisanaux. La stratégie doit reposer en priorité sur la pré-concentration avant l'amalgamation. Une pré-concentration efficace entraîne des pertes d'or. Il faut donc améliorer le traitement à toutes les étapes du processus, notamment : l'exploration et la planification de l'extraction des gisements et des opérations minières, le choix et le prétraitement du minerai, le broyage efficace pour la libération de l'or, la concentration et le suivi de l'or dans le minerai et les résidus. Dans l'ensemble, une récupération plus élevée de l'or peut être obtenue sans mercure. Le transfert de technologie et la formation constituent une voie importante à cette fin, en supposant non seulement la formalité, mais aussi l'accès aux investissements et aux services.

Résumé des recommandations

En répondant aux multiples défis environnementaux des deux sites d'EMAPE, les recommandations sont séquencées par des interventions nécessitant le moins d'investissement et de formation, suivies de changements progressivement plus coûteux et plus complexes qui peuvent être ajoutés lorsque les mineurs sont prêts à franchir l'étape suivante. Des consultations avec les mineurs et les communautés locales devront être organisées afin d'obtenir leur point de vue et leur participation aux interventions proposées.

Réduction du mercure

1. Promouvoir l'utilisation de cornues ou de hottes pour récupérer le mercure et réduire l'exposition ainsi que l'inhalation de vapeurs toxiques de mercure. Les mineurs doivent cesser d'utiliser les feuilles comme une cornue.
2. Promouvoir la concentration et la fusion directe comme alternative à l'amalgamation du minerai entier.
3. Améliorer l'approvisionnement en eau et la gestion des déchets à l'aide de réservoirs imperméables, le remplissage des anciens puits et la réorganisation des activités de traitement. Cela permettra d'isoler les rejets de mercure et de réduire l'infiltration d'eau dans les zones d'amorçage des glissements de terrain.
4. Analyser la minéralogie du minerai d'or pour guider les changements dans les méthodes de transformation à la fois pour le broyage et la concentration par gravité.
5. Optimiser l'alimentation du broyeur, la vitesse, la durée et le contrôle de la taille des grains, en utilisant également des essais contrôlés participatifs (y compris l'installation et la comparaison des équipements de broyage existants).
6. Améliorer les pratiques de lavage sur écluses existantes en optimisant la vitesse d'écoulement, le débit de l'alimentation et les turbulences grâce à des essais participatifs et contrôlés sur site.
7. Essai sur terrain des différents dispositifs mécaniques de concentration sur site, en commençant par des tables vibrantes, des spirales, des concentrateurs type « blue bowls », et des dispositifs de compression, en utilisant des essais à court terme d'équipement de laboratoire (qui peut également être utilisé pour améliorer les concentrés primaires pour permettre la fusion directe).

8. Mettre en œuvre les meilleures pratiques de broyage en milieu humide et de procédés de concentration. Parmi les options possibles, mentionnons l'utilisation de l'unité de transformation à petite échelle implantée au Burkina Faso par Artisanal Gold Council, comme modèle¹⁰.
9. Utiliser le tranchage et le lavage à l'écuelle (à la base), et potentiellement aussi l'instrumentation géophysique moderne (comme les suivis électromagnétiques ou autres) pour étudier les réserves d'or et planifier les activités minières.

Stabilisation des pentes (Butuzi)

1. Planter l'herbe de vétiver (*Chrysopogon zizanioides*) pour aider à stabiliser les pentes abruptes du site minier de Butuzi.
2. Contrôler le drainage pour minimiser la saturation du sol et l'érosion.
3. Construire une citerne bétonnée et un système de collecte des eaux de pluie.
4. Établir des stations de lavage sur rampes et d'amalgamation loin du site perturbé afin de réduire l'exposition des mineurs à l'échec de la pente.
5. Cartographier et planifier les activités de creusées des tunnels.

Protection des forêts et des terres (Some/Kafiawema)

1. Récupérer et remplir systématiquement les puits après extraction. Les trous contenant des résidus contaminés au mercure doivent être recouverts d'un mètre d'argile ou de latérite, compactés, recouverts de terre et recouverts de végétaux.
2. Limiter la chasse et le commerce de la faune.
3. Appliquer une approche sélective pour l'abattage des arbres, informée par une assistance technique sur l'exploration et la planification minières.

Sécurité au travail

1. Utiliser des brouettes ou des chariots à main pour transporter les sacs de minerai.
2. Porter des gants solides (de préférence pas en latex) lors de la manipulation du mercure, en particulier lors du retraitement du résidu et dans l'amalgamation du minerai entier. Les gants doivent normalement être utilisés pendant tout travail humide.
3. Tout le mercure doit être stocké dans des récipients durables qui sont clairement étiquetés comme du mercure et comme toxique, et recouverts d'une couche d'eau pour empêcher le mercure de s'évaporer.
4. Mettre des masques à poussière jetables et des lunettes de protection lors du broyage du minerai rocheux à sec. Noter que les masques anti-poussières doivent être remplacés régulièrement.
5. Des casques de sécurité devraient normalement être portés à tout moment sur le site, en particulier à Butuzi.
6. Fournir un équipement de premiers secours simple sur le site minier.
7. Encourager les mineurs à entreposer de l'eau potable et à construire une latrine saine à l'emplacement de la mine.

¹⁰ Voir [AGC Burkina Faso Update report](#) et la vidéo [Emploie l'Or Artisanal pour l'Aide au Développement](#).

Annexe 1 : Interprétation des analyses de laboratoire

Échantillons de bouteilles

Toutes les valeurs mesurées sont en mg/kg (équivalent à ppm). Directive canadienne sur la qualité du sol Hg = 6,6 mg/kg ; Guide provisoire sur la qualité des sédiments d'eau douce Hg = 0,17 mg/kg

Code échantillon	Description	Discussion des analyses chimiques	Hg	As	Pb	Au
B 1 B	Rivière à l'ouest du marché où les acheteurs d'or brûlent des amalgames, 1-2m de large, hauts bancs, vieux bassin résistant. Échantillon composé de sable noir fin avec des flocons de mica. Échantillon de 1 à 10 cm de sédiments des profondeurs sous-marines, Muger River, turbidité marron, entourée de champs agricoles.	Preuve d'une contamination par le mercure, comme prévu, car étant situé en aval de la place du marché où les acheteurs d'or brûlent l'Hg. Aucun autre métal n'avait une concentration élevée.	0,03	6	6,5	
B 2 B	Échantillon à blanc embouteillé à la rivière Luzinzi (b3b).	Cet échantillon à blanc était constitué de sable issu d'un site de construction à Bukavu, aucune concentration significative de métal présente.	0,0085	1,8	7,4	
B 3 B	Échantillon composite de la rivière Luzinzi, sédiment bimodal immature issu des tresses de la rivière qui a été retraitée avec du Hg par l'EMAPE. Échantillon composite de sédiments d'eau douce en amont près du canal d'écoulement plus rapide dans le canal plus lent au milieu de la zone d'amalgamation. Le lavage à l'écuelle est fait dans un lit d'écoulement plus rapide à proximité.	Les niveaux de Hg reflètent le fait que cette rivière entière est une mine alluvionnaire artisanale à cet endroit et pendant plusieurs kilomètres en amont. Les niveaux d'arsenic sont 100 fois plus élevés que ceux des directives	0,064	710	15	

Code échantillon	Description	Discussion des analyses chimiques	Hg	As	Pb	Au
B 4 B	Échantillon composite de la rivière Lulinja sur 3 m de longueur de la courbe tranquille dans le lit de la rivière ; la rivière est brun clair trouble depuis l'amont de l'exploitation minière, les grandes roches de schiste noir font de petites rapides dans le fleuve qui coule rapidement au milieu, le sédiment est du sable fin et de la boue, bruns avec des strates noires	Moins contaminé que la rivière Luzinzi, preuve encore de l'amalgamation en amont.	0,034	8,9	7,5	
B 5 B	Les lourds travaux des mineurs ont conduit à l'apparition de tresses dans le lit de la rivière, avec un débit d'eau modéré, un fond vaseux et un échantillon composite.	Plus faible contamination mercurielle que celle attendue, et une différence significative de la concentration de mercure comme comparée au double, la variabilité du mercure dépasse de loin la variabilité des autres éléments, car il est déposé et perturbée de façon discontinue et aléatoire par les humains, tandis que les autres concentrations de métaux sont davantage liées à la décharge de fond et aux résidus qui produisent des signaux plus uniformes.	0,068	950	19	
B 6 B	Double de l'échantillon B5B	Concentrations de métal conséquente dans les deux échantillons, le mercure varie plus.	0,091	860	20	
B 7 B	Bassin d'amalgamation du site minier de Butuzi, Boue jaunâtre et eau stagnante, plusieurs mineurs ont amalgamé le minerai dans ce bassin au cours de notre dernière visite 2 jours auparavant, ce qui suggère qu'il s'agit d'un événement quotidien.	Aussi contaminé qu'un bassin d'amalgamation le serait, l'arsenic est étonnamment élevé.	3,6	440 0	61	

Code échantillon	Description	Discussion des analyses chimiques	Hg	As	Pb	Au
B 8 B	Échantillon de fond, 50 cm en dessous de la surface, 10 cm dans la face de l'escarpement, sous-sol brun humide (horizon B) avec des roches pointues et quelques racines, sommet de la mine de Butuzi.	Des quantités surprenantes de mercure dans le minerai lui-même, peut-être des mineurs ont fait brûler à proximité, le prochain échantillon, B9B, est un meilleur échantillon de fond de mercure.	0,34	190 0	28	
B 9 B	Le GPS marque l'entrée de la mine, échantillon de minerai pris dans le tunnel ~ 40 m de profondeur selon le mineur qui a pris l'échantillon, mais le puit est tortueux.	Un meilleur échantillon de fond pour le mercure parce qu'il est venu de 40 m de profondeur, les niveaux d'arsenic sont très élevés.	0,018	350 0	47	< 8
B 10 B	Un autre échantillon de bassin d'amalgamation.	Typiquement, des concentrations élevées d'Hg et d'As pour les bassins d'amalgamation sur ce site. La variabilité entre les bassins est intéressante.	0,95	120 00	82	
B 11 B	Échantillon de bassin d'amalgamation (composé mélangé dans le bocal de l'échantillon et non dans un sac en plastique).	L'arsenic est élevé dans tous les bassins parce qu'il est concentré avec les minerais sulfureux comme la pyrite, puis est rejeté avec le concentré après l'amalgamation.	0,74	140 00	28	
B 12 B	Rivière Luzinzi 5 km au nord et en aval de Kaziba.	Des concentrations alarmantes de mercure en aval de la plupart des activités minières, y en a-t-il de très proches ? Également intéressant comment le Hg est cohérent avec la concentration 2 km plus en aval.	0,2	430	12	
B 13 B	Rivière Luzinzi 7 km au nord et en aval de Kaziba.	Curieusement de fortes concentrations en mercure.	0,26	390	14	
B Conc	Échantillon de concentré issu des écorces de banana sur une écluse.	Il est très intéressant que le mercure provenant de ce concentré, qui n'est pas encore soumis au mercure.	0,27	570 0	110	10-40

Code échantillon	Description	Discussion des analyses chimiques	Hg	As	Pb	Au
		soit toujours de 15 fois supérieur à celui du minerai en vrac dans l'échantillon B9B. Cela indique que B8B reflète de possibles concentrations de fond dans certaines parties de ce gisement après tout.				
mleaf	Feuilles utilisées pour capturer le mercure durant le brûlage de l'amalgame.	Des dizaines de feuilles aussi contaminées que cela sont produites et abandonnées quotidiennement sur chaque site minier au Congo.	22000			
M - Ore	Échantillon de minerai de quartz.	De relatifs faibles niveaux de métaux autres que l'or, cette valeur pour l'or correspond aux valeurs les plus basses de l'échantillon géologique de minerai analysé au Canada.	0,0082	62	8,1	13
M 1 B	En amont du site minier, d'un brun clair à 2 m d'un large ruisseau très lent à peu près encore, contours boisés, boueux, échantillons échantillonnés à la main par une personne locale sous supervision, échantillons provenant d'un point situé à 2 m de long sur la rivière, diverses profondeurs d'eau, de surface 1-10 cm.	Peut-être le Hg élevé indique-t-il que l'exploitation précédente ou en amont de ce site a déjà contaminé les sédiments ou que les niveaux de fond sont élevés ? L'échantillon à blanc semble suggérer un fond régional élevé.	0,16	3,1	5,4	
M 2 B	Échantillon composite dans le ruisseau immédiatement en amont de l'apport pour l'approvisionnement en eau de la mine, eau de couleur thé avec fond boueux de 4 m de large, un débit allant du faible au modeste et de vieux contour boisés, rivière Mbela.	Peut-être le Hg élevé indique-t-il que l'exploitation précédente ou en amont de ce site a déjà contaminé les sédiments ou que les niveaux de fond sont élevés ? L'échantillon à blanc semble suggérer un fond régional élevé.	0,11	7,3	21	
M 3 B	Échantillon composite à l'écoulement du canal de dérivation de la mine,	Hg est 10 fois supérieur aux valeurs de fond et d'amont.	1,1	37	12	

Code échantillon	Description	Discussion des analyses chimiques	Hg	As	Pb	Au
	largeur 4-5 m, écoulement très lent avec fond boueux et ombrage des contours boisés, Translucide à turbidité modérée, ruisseau Sabasaba.					
M 4 B	Échantillon à blanc sur le site M3B, le matériel provient d'une termitière chauffée au soleil à 1 heure de Mambasa sur la route de Bunia, loin des grandes installations.	Les niveaux régionaux de mercure sont modestes.	0,12	1,8	6,2	
M 5 B	Échantillon composite de résidus issus des rampes de lavage et des bassins d'amalgamation.	Contamination au Hg comme attendue.	6,6	130	23	
M 6 B	Échantillon composite au site M5B ; 5-6 fois de résidus retravaillés (nouvelles quantités de Hg ajoutées à chaque fois).	Comme un double de l'échantillon précédent, cela indique encore une fois comment peuvent être les concentrations de mercure variables dans les points chauds ; tous les autres métaux sont presque identiques en concentration.	3,3	110	16	
M 7 B	Échantillon composite en amont en aval du point de lavage des vêtements, petit ruisseau boueux.	Nous avons découvert plus tard que c'était ici où ils ont fait le lavage sur les écluses et l'amalgamation.	5	130	20	
M 8 B	Double de M7B	Comme un double de l'échantillon précédent, cela indique à nouveau le degré de variabilité que les concentrations de mercure peuvent avoir dans les points chauds.	0,94	54	7,7	
M 9 B	Échantillon de fond constitué de boue prélevée à 3 m de profondeur dans le mur d'un puit de mine à l'ombre un après-midi, la texture tachetée grise / marron / rouge tachetée.	Contexte local en Hg semble être élevé, en cohérence avec le contexte régional.	0,16	310	17	

Code échantillon	Description	Discussion des analyses chimiques	Hg	As	Pb	Au
	avec des cailloux de quartz en elle.					
M 10 B	Échantillon composite d'un bassin d'amalgamation sur le site de la mine Mbembese.	Fortes concentrations en Hg compatibles avec l'utilisation de l'amalgamation à long terme dans ce bassin.	26	180	52	
M 11 B	Vieux trous alluviaux remplis d'eau stagnante sombre, ressemble à des marais et des lacs avec de l'eau de couleur du thé, échantillon composite de résidus récemment retravaillés.	Conditions idéales pour la méthylation : résidus contaminés dans des bassins stagnants et anoxiques à haute teneur en matières organiques dissoutes.	3,6	100	20	
M 12 B	"Amont" dans le ruisseau Mbutele, NB., Il s'agit d'une grande catastrophe de la mine alluvionnaire non réhabilitée qui s'est fermée il y a environ 3 ans et est en partie revégétalisée. Ce point avait un filet de courant, l'eau claire qui est de couleur thé en profondeur.	Il est clair qu'il y a une contamination généralisée par du Hg dans cette zone, comme l'indique le paysage dégradé.	0,65	7,7	5,9	
M 13 B	Complexe sablonneux ouvert / puit graveleux dans lequel il était difficile de trouver des poudres de terre, désastre alluvial non remédié.	De toute évidence, il existe une contamination généralisée du Hg dans cette zone.	1,1	17	4,1	
M 14 B	Échantillon de coupe de la route ~ 5 cm dans la face coupée et ~ 1 m sous la surface du sol, saprolite durci de sapin, rouge.	Un autre enrichissement de Hg encore plus étrange dans le sol, fond local est assez élevé.	0,41	4,1	18	
M 15 B	Exemples d'informations illisibles, Probablement un double de champ de M13B.	Teneur en mercure exactement égale comparée à l'échantillon m13b.	1,1	48	9,5	

Échantillons d'écouvillons

Toutes les valeurs sont mesurées en microgramme (μg) par tampon.

Code échantillons	Description	Discussion des analyses chimiques	Hg	As	Pb
S 1 B	Coin nord-ouest du marché de Katudu Kabiza, cabane d'acheteur d'or à 1,5 mètres du site de brûlage, mur écouvillonné sous le toit.	Une contamination relativement élevée du mercure, comme prévu.	1,7	0,77	0,54
S 2 B	Katudu marché Kabiza, cabane acheteur d'or à 2,4 mètres de site de brûlage.	Concentration modeste en Hg à une distance modérée.	0,42	< 0,2	13
S 3 B	Marché Katudu Kabiza, cabane acheteur d'or à 3,7 mètres du site de brûlage.	Moins de mercure plus loin	0,22	< 0,2	3,7
S 4 B	Sortie est, du marché de Katudu, espace vide.	Le test à blanc sans mercure suggère que la contamination croisée n'est pas un problème.	< 0,2	< 0,2	1,9
S 5 B	Sortie est du marché de Katudu brique de toiture.	Résultat non significatif	< 0,2	< 0,2	1,5
S 6 B	Sortie est et Sud du marché de Katudu.	Cette valeur est élevée pour être sur le côté opposé du marché, Peut-être qu'il y a d'autres sites de brûlage ?	0,4	< 0,2	3,1
S 7 B	Sortie est et Nord du marché de Katudu.	Résultat non significatif	< 0,2	< 0,2	< 0,2
S 8 B	Marché de Katudu, sortie du milieu nord près des restaurants.	Résultat non significatif	< 0,2	< 0,2	< 0,2
S 9 B	Marché de Katudu, sortie ouest et nord près du marché d'or.	Plus près de la zone de brûlage, les concentrations de Hg augmentent.	0,29	< 0,2	< 0,2
S 10 B	Marché de Luakabiri, toiture du marché	Résultat non significatif	< 0,2	0,23	0,73
S 11 B	À l'intérieur de la salle de classe de l'école primaire de Kabiza, mur près du marché où les acheteurs d'or sont installés.	Résultat non significatif	< 0,2	< 0,2	0,9
S 12 B	Double de 11	Résultat non significatif	< 0,2	< 0,2	3
S 13 B	Mur et toiture d'une salle de classe à proximité des cabanes des acheteurs d'or au marché.	Résultat non significatif	< 0,2	1,1	0,87
S 14 B	Environs du domicile d'un acheteur d'or, mur au-dessus du site de brûlage.	Il est bizarre de ne pas trouver de Hg ici, peut-être que les mineurs brûlent habituellement sur le site minier et le feu de charbon de cette personne n'est pas plus chaud, il n'émet pas de quantités significatives de Hg ?	< 0,2	< 0,2	0,47
S 15 B	Mur intérieur de la maison d'un	Résultat non significatif	< 0,2	< 0,2	0,45

Code échantillons	Description	Discussion des analyses chimiques	Hg	As	Pb
	acheteur d'or				
S 16 B	Salle de brûlage derrière la maison des acheteurs.	Résultat non significatif	< 0,2	< 0,2	4,2
S 1 BUK	Près de la cheminée de la boutique d'or à l'Hôtel Mt. Kauzi, Bukavu.	Il est clair que l'or spongieux contenant du mercure résiduel se trouve ici.	7	2,6	0,4
S 2 BUK	Espace ombragé de mur entre la boutique d'or et l'hôtel près de la zone de brûlage.	Hg diminue rapidement à courte distance du dernier échantillon.	1,2	0,29	0,81
M 1 S	Mur d'un site de brûlage d'amalgame	Une preuve définitive du risque pour la santé, le Hg est relativement faible pour être immédiatement au-dessus du site de brûlage.	2,1	0,81	< 0,2
M 2 S	5 mètres à l'ouest de M1S, au-dessus de la zone de brûlage d'amalgame sous le toit.	Le Hg diminue rapidement lorsque l'on s'éloigne du site de brûlage.	0,52	0,92	< 0,2
M 3 S	Écouvillon de l'entrepôt à mercure à intérieur de la maison du PDG, poutres de toit écouvillonnées, sous les étagères, le dessus du comptoir et le dessous.	La salle de stockage du mercure est contaminée.	2,9	0,46	0,41
M 4 S	Un échantillon à blanc sur le site M3S.	Résultat non significatif	< 0,2	< 0,2	< 0,2
M 5 S	Double de M3S	Encore une fois, les doublons montrent que le Hg varie beaucoup plus que d'autres métaux, mais les doublons accordent généralement une marge de 30 % d'erreur.	1,9	0,36	0,52
M 6 S	Murs et toitures au-dessus du site de brûlage du PDG sur le porche couvert de sa maison.	De loin, la plus grande teneur en Hg dans la poussière est au-dessus du site de brûlage du camp à la maison du PDG.	1200	4,9	0,83
M 7 S	Poutres des huttes servant de cuisines où l'amalgame est brûlé.	Hg beaucoup plus faible que dans le site de brûlage d'amalgame adjacent, conformément à l'habitude des mineurs de brûler sur le porche avant au lieu de le faire dans leur cabane.	69	0,89	0,28
M 8 S	Emplacement du foyer où l'amalgame a été brûlé en plein air, il s'agit d'un échantillon de poussière de 3 arbres environnants à moins de 4 mètres du site de brûlage.	Élévation modérée de mercure dans la poussière.	3,3	0,34	1,5

Annexe 2 : Résultats d'analyses de laboratoire

Tous les échantillons de sol, de sédiments, de minerai, de feuilles et d'écouvillons ont été analysés pour le mercure et d'autres métaux par le laboratoire Spiez en Suisse.

Le tableau suivant montre les échantillons contenant les quantités les plus importantes de mercure, d'autres métaux et des minerais d'or.

Échantillon	Analyse / Matrice	Fraction massique	Seuil Suisse (TVA1)
M 6 S	Mercure / essai d'absorption	1200 µg / tampon	-
M 10 B	Mercure / sédiment	26 mg/kg	0,5 mg/kg
M Leaf	Mercure / feuilles	2,2 %	-
B 11 B	Arsenic / sédiment	14000 mg/kg	15 mg/kg
B Conc	Cuivre / concentré	1100 mg/kg	40 mg/kg
B 9 B	Or / minerai	< 8 mg/kg	-
B Conc	Or / concentré	10 – 40 mg/kg	-
M - Ore	Or / Minerai de quartz	13 mg/kg	-

¹Réglementation suisse sur les déchets ([Technische Verordnung über Abfälle](#))

Résultats des analyses de laboratoire pour les tests d'absorption :

UNEP Code	UA-2016-12	Cr µg/ta mpon	Mn µg/ta mpon	Co µg/ta mpon	Ni µg/ta mpon	Cu µg/ta mpon	Zn µg/ta mpon	As µg/ta mpon	Cd µg/ta mpon	Pb µg/ta mpon	Hg µg/ta mpon
S 1 B	-15	2,7	18	0,57	1,2	1,7	4,8	0,77	< 0,2	0,54	1,7
S 2 B	-16	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,25	0,87	< 0,2	< 0,2	13	0,42
S 3 B	-17	< 0,2	1,1	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,24	< 0,2	< 0,2	3,7	0,22
S 4 B	-18	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	1,9	< 0,2
S 5 B	-19	0,8	5,2	< 0,2	< 0,2	0,22	0,72	< 0,2	< 0,2	1,5	< 0,2
S 6 B	-20	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	3,1	0,4
S 7 B	-21	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
S 8 B	-22	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
S 9 B	-23	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,29
S 10 B	-24	0,41	9,9	< 0,2	< 0,2	0,28	1,8	0,23	< 0,2	0,73	< 0,2
S 11 B	-25	< 0,2	4,1	< 0,2	< 0,2	< 0,2	1,2	< 0,2	< 0,2	0,9	< 0,2
S 12 B	-26	0,34	8,5	< 0,2	< 0,2	0,21	3,1	< 0,2	< 0,2	3	< 0,2
S 13 B	-27	4,3	96	1	2	3	19	1,1	< 0,2	0,87	< 0,2
S 14 B	-28	< 0,2	1,5	< 0,2	< 0,2	< 0,2	88	< 0,2	< 0,2	0,47	< 0,2
S 15 B	-29	< 0,2	3,4	0,43	< 0,2	< 0,2	0,6	< 0,2	< 0,2	0,45	< 0,2
S 16 B	-30	< 0,2	4,8	< 0,2	< 0,2	0,27	510	< 0,2	< 0,2	4,2	< 0,2
S 1 BUK	-31	0,88	6,2	< 0,2	0,24	0,42	4,7	2,6	< 0,2	0,4	7
S 2 BUK	-32	2,2	11	0,21	0,42	0,49	1,5	0,29	< 0,2	0,81	1,2
M 1 S	-33	< 0,2	2,3	< 0,2	0,24	< 0,2	1,1	0,81	< 0,2	< 0,2	2,1
M 2 S	-34	< 0,2	2,1	< 0,2	0,25	0,26	0,41	0,92	< 0,2	< 0,2	0,52
M 3 S	-35	0,22	1,3	< 0,2	0,42	0,5	2	0,46	< 0,2	0,41	2,9
M 4 S	-36	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,55	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
M 5 S	-37	< 0,2	0,88	< 0,2	0,28	0,22	0,63	0,36	< 0,2	0,52	1,9
M 6 S	-38	0,66	6,6	< 0,2	0,85	1	2,2	4,9	< 0,2	0,83	1200
M 7 S	-39	0,48	28	< 0,2	0,68	1,2	4,4	0,89	< 0,2	0,28	69
M 8 S	-40	0,22	2,2	< 0,2	0,29	0,25	0,9	0,34	< 0,2	1,5	3,3

Analyses de laboratoire du mercure dans le sol / sédiment / minéral / échantillons de feuilles :

UNEP Code	UA-2016-12	Hg µg/kg matière sèche
B 1 B	-1	30
B 2 B	-2	8,5
B 3 B	-3	64
B 4 B	-4	34
B 5 B	-5	68
B 6 B	-6	91
B 7 B	-7	3600
B 8 B	-8	340
B 9 B	-9	18
B 10 B	-10	950
B 11 B	-11	740
B 12 B	-12	200
B 13 B	-13	260
B Conc	-14	270
M - Leaf	-41	22000000 (2,2 %)
M - Ore	-42	8,2
M 1 B	-43	160
M 2 B	-44	110
M 3 B	-45	1100
M 4 B	-46	120
M 5 B	-47	6600
M 6 B	-48	3300
M 7 B	-49	5000
M 8 B	-50	940
M 9 B	-51	160
M 10 B	-52	26000
M 11 B	-53	3600
M 12 B	-54	650
M 13 B	-55	1100
M 15 B	-56	1100
M 14 B	-57	410

Analyses de laboratoire des autres métaux dans le sol / sédiment / minéral :
 mg/kg matière sèche / l = lixivié ; t = total / * valeurs informatives sur l'or seulement, non accrédité

UNEP Code	UA-2016-12	Cr - l mg/kg	Mn - l mg/kg	Co - l mg/kg	Ni - l mg/kg	Cu - l mg/kg	Zn - l mg/kg	As - l mg/kg	Cd - l mg/kg	Pb - l mg/kg	U - l mg/kg	Au - t * mg/kg
B 1 B	-1	65	360	14	33	40	84	6	< 0,5	6,5	1,2	
B 2 B	-2	7,2	54	1,3	4,4	3	18	1,8	< 0,5	7,4	3,7	
B 3 B	-3	20	250	6,6	12	190	26	710	< 0,5	15	6	
B 4 B	-4	36	410	7,9	17	22	28	8,9	< 0,5	7,5	0,87	
B 5 B	-5	20	160	5,7	13	240	16	950	< 0,5	19	9,3	
B 6 B	-6	19	190	6	13	220	14	860	< 0,5	20	9	
B 7 B	-7	39	15	1	1,9	500	7,3	4400	< 0,5	61	60	
B 8 B	-8	69	42	1,1	2,5	170	7,3	1900	< 0,5	28	9	
B 9 B	-9	25	14	0,71	4,5	710	5,1	3500	< 0,5	47	72	< 8
B 10 B	-10	58	22	3,2	3,2	920	5,1	12000	< 0,5	82	120	
B 11 B	-11	47	21	3,2	3,1	770	8,4	14000	< 0,5	28	57	
B 12 B	-12	23	270	6,7	13	200	77	430	< 0,5	12	4,1	
B 13 B	-13	30	290	7,9	18	120	41	390	< 0,5	14	4,8	
B Conc	-14	36	40	5,6	11	1100	6,9	5700	< 0,5	110	44	Oct-40
M - Ore	-42	12	30	3,5	16	31	12	62	< 0,5	8,1	< 0,5	13
M 1 B	-43	31	130	8	12	7,4	25	3,1	< 0,5	5,4	0,56	
M 2 B	-44	100	480	27	37	21	75	7,3	< 0,5	21	1,1	
M 3 B	-45	24	140	7,6	13	11	25	37	< 0,5	12	< 0,5	
M 4 B	-46	46	400	13	17	16	25	1,8	< 0,5	6,2	0,59	
M 5 B	-47	33	50	4	22	18	12	130	< 0,5	23	< 0,5	
M 6 B	-48	30	40	3,2	19	15	16	110	< 0,5	16	< 0,5	
M 7 B	-49	19	56	4,6	16	16	15	130	< 0,5	20	< 0,5	
M 8 B	-50	19	120	3,9	5,9	8,5	63	54	< 0,5	7,7	< 0,5	
M 9 B	-51	66	38	4,5	18	42	32	310	< 0,5	17	2,3	
M 10 B	-52	20	34	4,1	23	25	19	180	< 0,5	52	1	
M 11 B	-53	35	130	4,6	12	14	31	100	< 0,5	20	< 0,5	
M 12 B	-54	33	280	8,9	11	9,9	25	7,7	< 0,5	5,9	< 0,5	
M 13 B	-55	30	120	5	8,4	9,7	19	17	< 0,5	4,1	< 0,5	
M 15 B	-56	15	160	4,8	6,5	57	150	48	< 0,5	9,5	< 0,5	
M 14 B	-57	21	97	3,1	11	3,4	35	4,1	< 0,5	18	6,2	



Cours d'eau sinueux après remaniement extensif du lit de la rivière Luzinzi par les mineurs artisanaux.

ONU 
environnement

Programme des Nations Unies
pour l'environnement