



# GUIDE PRATIQUE

## RÉDUIRE L'UTILISATION DU MERCURE DANS LE SECTEUR DE L'ORPAILLAGE ET DE L'EXPLOITATION MINIÈRE ARTISANALE





**1972-2012:**  
Serving People  
and the Planet



**fem** FONDS POUR L'ENVIRONNEMENT MONDIAL  
POUR INVESTIR DANS NOTRE PLANÈTE



**ARTISANAL  
GOLD COUNCIL**



**University  
of Victoria**



**IUGS-GEM**  
Commission on Geoscience  
for Environmental Management

Copyright © Programme des Nations Unies pour l'environnement (2012)  
Traduit de la version anglaise originale

Un document du PNUE dans le cadre du Programme de partenariat mondial pour le mercure, produit en collaboration avec Artisanal Gold Council (AGC) et avec l'assistance de l'ONUDI, de l'Université de Victoria et de l'Union Internationale des Sciences Géologiques-Commission des géosciences pour la gestion environnementale (IUGS-GEM); 2012.

Les principaux auteurs du guide sont Kevin Telmer et Daniel Stapper d'AGC. Toutes les photographies et images présentées dans ce document, à l'exception de celles spécifiquement indiquées, sont la propriété d'Artisanal Gold Council. Leur utilisation est soumise à l'autorisation préalable de la part d'AGC.

A condition d'en mentionner la source, la présente publication peut être reproduite intégralement ou en partie sous quelque forme que ce soit à des fins pédagogiques ou non lucratives sans autorisation spéciale du détenteur du copyright. 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.

#### Avertissement

Les termes utilisés et la présentation du matériel contenu dans la présente publication ne sont en aucune façon l'expression d'une opinion quelconque par le Programme des Nations Unies pour l'environnement 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. De plus, les opinions exprimées ne représentent pas nécessairement la décision ou la politique officielle du Programme des Nations Unies pour l'environnement, de même que la mention de marques ou de méthodes commerciales ne constitue une recommandation.

# Réduire l'utilisation du mercure dans le secteur de l'orpaillage et de l'exploitation minière artisanale

Guide pratique



Un document du PNUE Programme de partenariat mondial pour le mercure produit en collaboration avec Artisanal Gold Council.

[www.artisanalgoldcouncil.org](http://www.artisanalgoldcouncil.org)

# Table des matières

## Les principes de base

Aperçu . . . . .	page 7
À qui s'adresse ce guide? . . . . .	page 7
Pourquoi se préoccuper du mercure? . . . . .	page 8
Émissions et consommation mondiales de mercure . . . . .	page 9
Comment utilise-t-on le mercure pour extraire l'or? . . . . .	page 10
Risques pour la santé des mineurs et de leur famille . . . . .	page 12

## CHAPITRE 1 - Utilisation du mercure: les détails

1.1 Amalgamation du minerai brut . . . . .	page 16
1.2 Amalgamation du minerai concentré . . . . .	page 18

## CHAPITRE 2 - Solutions

2.1 Identifier les solutions appropriées . . . . .	page 21
Schéma . . . . .	page 22
2.2 Exploitation minière et concentration . . . . .	page 24
Libération de l'or . . . . .	page 24
Taille des grains (granulométrie) . . . . .	page 26
2.3 Améliorer la concentration . . . . .	page 28
Sluice . . . . .	page 30
Centrifugeuse . . . . .	page 32
Concentrateur en spirale . . . . .	page 34
Vortex . . . . .	page 35
Table vibrante . . . . .	page 36
Flottation . . . . .	page 37
Tri à l'aimant . . . . .	page 38

2.4 Traitement et Raffinage.....	page 40
Éviter de chauffer l'amalgame à l'air libre .....	page 40
2.5 Améliorer le traitement et le raffinage .....	page 42
Cornue.....	page 42
Hotte aspirante .....	page 44
Activer le mercure .....	page 46
2.6 Éliminer l'utilisation du mercure: procédés sans mercure.....	page 48
La gravité .....	page 48
La fusion directe.....	page 50
Le lessivage chimique .....	page 54
Modèle d'une usine de raffinage sans mercure ..	page 56
2.7 Sujets connexes .....	page 60
Filons aurifères, exploration, planification .....	page 60
Purifier l'or - la méthode du quartage .....	page 61
L'utilisation du mercure avant la cyanuration .....	page 64
La gestion des déchets et des sites contaminés ..	page 66
Annexe 1. Résumé du secteur.....	page 68
Annexe 2. Coûts relatifs des techniques d'intervention ...	page 69
Annexe 3. Directives techniques de l'ONUDI sur le mercure .....	page 70

La photographie en arrière-plan montre des morceaux "d'or spongieux", résultats de l'amalgamation au mercure. Chaque morceau représente le résultat d'une journée de travail pour un groupe de mineurs. Le gros amalgame visible à l'avant pèse 8 grammes. Une valeur de 385 dollars américains (US\$), au prix de 1500 US\$/onze.



Des mineurs assistant à une session de formation au Mozambique

Les exploitations minières artisanales et à petite échelle (EMA) constituent une opportunité de développement importante qui peut contribuer directement à améliorer les conditions de pauvreté et de développement régional. Bien qu'il existe de nombreux problèmes sociaux et environnementaux dans le secteur, il existe aussi une opportunité réelle de transformer la richesse minérale en développement local durable.

## Aperçu

1. L'exploitation aurifère peut représenter une excellente opportunité de transfert des richesses aux communautés rurales; les petits producteurs d'or pouvant souvent obtenir près de 70% ou plus du cours de l'or, cela même dans les régions éloignées. C'est un prix beaucoup plus élevé que pour d'autres produits comme le café, les bananes, etc.
2. Le secteur de l'exploitation minière artisanale et à petite échelle (EMA) doit être inclus dans l'économie formelle afin d'en maximiser les avantages et d'en permettre l'amélioration.
3. Réduire l'utilisation du mercure est une étape clé qui permettra de réaliser pleinement les opportunités de développement et de se conformer aux standards environnementaux modernes.

## À qui s'adresse ce guide?

Ce guide s'adresse aux décideurs, mineurs et personnes de la société civile qui veulent en savoir plus sur les technologies et approches permettant de réduire ou d'éliminer l'utilisation du mercure dans les exploitations minières artisanales et à petite échelle (EMA).

### Gouvernements:

- Un simple outil d'éducation et de planification qui servira à guider les aspects techniques des programmes d'intervention et les considérations politiques
- Un outil permettant de comprendre les meilleures options techniques disponibles et de prendre des décisions basées sur celles-ci
- Une explication des fondements techniques qui sont à la base de la formalisation de ce secteur.

### Mineurs:

- Une introduction en images aux meilleures pratiques
- Un guide qui explique comment les conditions locales peuvent influencer les améliorations potentielles dans les pratiques minières
- Une explication des obstacles à surmonter pour améliorer les pratiques et réduire l'utilisation du mercure

### Société civile:

- Un outil éducatif pour mieux comprendre le secteur
- Une explication des obstacles auxquels sont confrontées les communautés minières lorsqu'elles tentent d'améliorer leurs pratiques et de réduire l'utilisation du mercure

## Pourquoi se préoccuper du mercure?

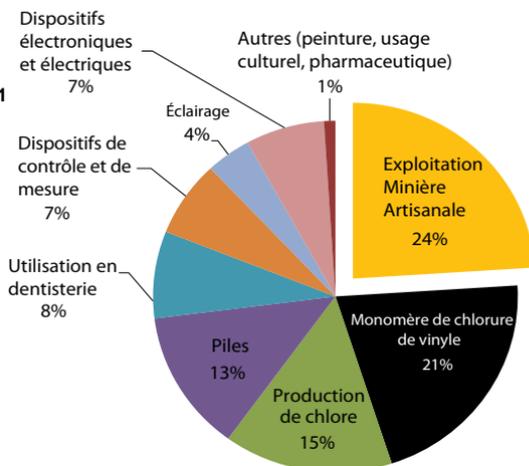
Le mercure est une neurotoxine particulièrement dommageable pour le développement du fœtus et des jeunes enfants. Une fois relâché dans l'environnement, le mercure peut se déplacer sur de grandes distances dans l'atmosphère et causer une contamination globale des écosystèmes, poissons, oiseaux et mammifères, tout au long de la chaîne alimentaire. Les milliards de personnes dans le monde qui consomment des fruits de mer contaminés sont à risque d'être atteints par le mercure à leur tour, ce qui affecte le développement et le fonctionnement du cerveau et du système nerveux central. Les communautés minières utilisant le mercure peuvent être exposées de façon encore plus importante.



## Émissions et consommation mondiale de mercure

### Demande de Mercure<sup>1</sup> (Consommation annuelle)

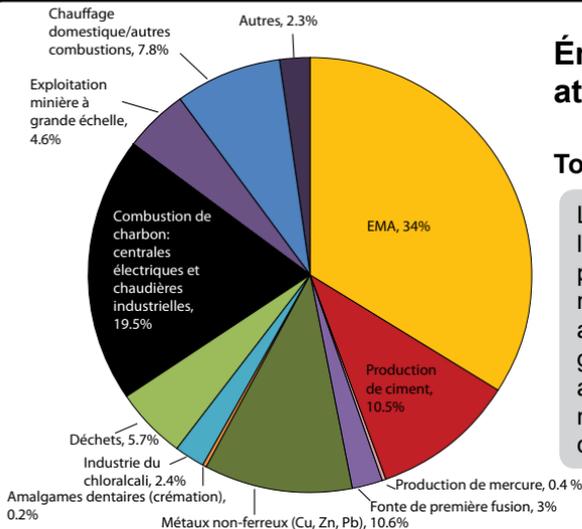
Le secteur de l'EMA est le plus grand consommateur de mercure au monde. On estime qu'à l'échelle mondiale, les orpailleurs en ont utilisé 1400 tonnes en 2011. (www.mercurywatch.org).



### Émissions de mercure atmosphériques<sup>2</sup>

Total = 2 063 tonnes

Le secteur de l'EMA constitue la plus grande source de pollution par le mercure au monde (air et eau). C'est aussi la deuxième plus grande source de pollution atmosphérique par le mercure au monde, après la combustion au charbon.



[1] Programme des Nations Unies pour l'Environnement, Summary of Supply, Trade and demand information on mercury.

[2] PNUE/AMAP Rapport Technique, Section A:Émissions de mercure atmosphériques, 2012

## Comment utilise-t-on le mercure pour extraire l'or?

Lorsque le mercure entre en contact avec les particules d'or présentes dans les sédiments ou dans le minerai broyé, il se forme un "amalgame": un mélange d'environ 50% de mercure et 50% d'or. Ensuite, pour récupérer l'or, il faut chauffer l'amalgame pour que le mercure s'évapore. Durant ces étapes, le mercure est émis dans l'air, l'eau et le sol.

1. Les roches ou sédiments contenant l'or ("minerai") sont extraits.



2. Si nécessaire, le minerai est broyé pour en libérer les particules d'or.



4. Pour extraire l'or, on ajoute le mercure au minerai, ce qui forme un amalgame (mélange or-mercure).



5. L'amalgame est recueilli, puis chauffé pour que le mercure s'évapore. On obtient ainsi de "l'or spongieux".



*Note: Contrairement à d'autres polluants, le mercure est un élément chimique et un métal, de symbole Hg. Le symbole ci-contre en forme de losange est utilisé dans le guide pour indiquer l'émission de vapeur de mercure et l'exposition humaine.*



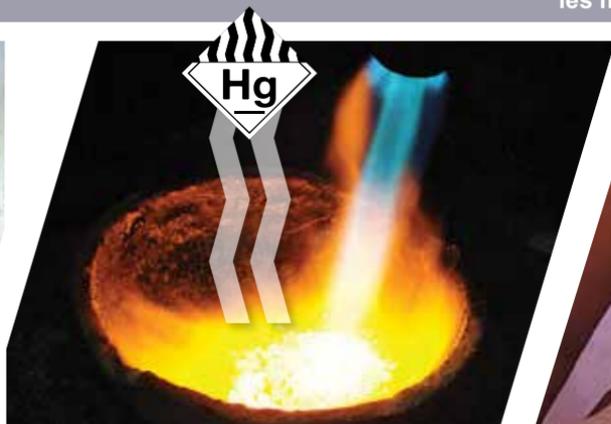
### 3. Fréquemment, le minerai contenant l'or est concentré afin d'en réduire la masse.



## Pourquoi utiliser le mercure?

- C'est simple et facile
- Pour l'indépendance: il peut être utilisé sans aide par une personne
- Pour extraire l'or dans presque toutes les conditions
- C'est une solution moins chère que d'autres
- Cela facilite les transactions et la division des profits: par exemple entre les mineurs et les propriétaires.
- Les mineurs n'en connaissent pas le risque. Ceux qui en ont conscience n'ont pas les fonds nécessaires pour mettre en oeuvre des alternatives.
- Certains n'ont pas le choix (directives du propriétaire)
- Cette méthode permet le traitement de petites quantités de minerai

### 6. "L'or spongieux" est fondu pour produire l'or brut solide.



### 7. L'or brut solide est raffiné à 24 ct par les marchands et vendu sur les marchés internationaux.



## Risques pour la santé des mineurs et de leur famille



Des millions de mineurs, d'enfants, de femmes en âge de procréer (potentiellement enceintes) et qui allaitent, travaillent ou vivent dans des communautés d'orpailleurs, risquent d'être exposés au mercure. La photo ci-dessus montre un homme en train de chauffer un amalgame sous le regard des enfants, dans une zone d'habitation. Ceux-ci ignorent les risques liés à cette activité. Il existe des méthodes simples et abordables, telles que celles préconisées par l'ONUDI (voir annexe 3), qui peuvent grandement réduire le risque quand elles sont bien employées.

Là où l'amalgame est chauffé, l'air ambiant peut contenir des quantités de vapeurs de mercure dangereusement élevées, dépassant presque toujours la limite de 1000 nanogrammes/m<sup>3</sup> établie par l'OMS. La santé des mineurs et celle des communautés situées autour des centres de traitement est alors mise en danger. L'exposition à des niveaux de mercure dépassant 1 200 000 nanogrammes/m<sup>3</sup> peut être fatale.

[2] Pour complément d'information sur les effets du mercure sur la santé humaine, voir:  
<http://www.who.int/ipcs/features/mercury.pdf>  
[http://www.who.int/ipcs/assessment/public\\_health/mercury/en/index.html](http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/mercury/en/index.html)

Les marchands d'or et les centres de traitement où l'amalgame est chauffé sont les lieux où l'exposition au mercure est parmi les plus élevées et les plus continues. Les vapeurs de mercure absorbées et condensées sur les surfaces (mur, sol, etc.) continuent d'être émises même plusieurs mois après que l'amalgame ai été chauffé, causant une exposition continue. Éventuellement, ces vapeurs entreront dans le cycle global du mercure et contamineront les chaînes alimentaires.



# Chapitre 1 - L'utilisation du mercure - les détails

Dans les EMA, on utilise le mercure principalement de deux façons:

## 1.1 L'amalgamation du minerai brut (AMB)



L'AMB est considéré comme une mauvaise pratique parce qu'inefficace et libérant de très grandes quantités de mercure dans l'environnement.

## 1.2 L'amalgamation du minerai concentré (AMC)

*Ci-dessous, un mineur indonésien ajoute du mercure afin de procéder à une AMB. Les images de droite montrent le procédé d'AMC: le mercure est ajouté au minerai concentré pour produire l'amalgame, qui sera ensuite chauffé pour en retirer le mercure et produire de l'or spongieux.*





## 1.1 Amalgamation du minerai brut (AMB)

Lors de l'AMB, le mercure entre en contact avec 100% du minerai (minerai brut). Ceci peut se faire de différentes façons (voir les exemples présentés dans chaque photo).

L'AMB est une mauvaise pratique parce que:

- La quantité de mercure utilisée peut être élevée (4 parties de mercure pour 1 partie d'or recueillie) à très élevée (20 parties de mercure ou plus pour 1 partie d'or recueillie). Dans les cas extrêmes, par exemple quand le minerai est riche en argent, le rapport peut s'élever à 50 pour 1.
- La technique n'est pas efficace: elle ne permet que très rarement de récupérer plus de 30% de l'or contenu dans le minerai et libère de grandes quantités de mercure dans les rejets.
- De grandes quantités de mercure sont rejetées et perdues parce que ce procédé mécanique produit des gouttelettes de mercure ("mercure farinisé") trop dispersées pour être récupérées. Il en résulte une contamination des sites très difficile à éliminer.

### exemple

*Le procédé d'AMB dans les trommels. Le mercure est versé dans des fûts en acier qui contiennent du minerai en cours de broyage. Le mercure amalgame l'or pendant que le minerai est broyé (Indonésie).*



Mauvaise



**exemple**

*“Quimbelete” AMB: le mercure est mélangé au minerai dans des bassins de pierre. L’amalgame se fait par broyage à l’aide de roches rondes (Pérou).*

Dans la plupart des cas, l’amalgamation du minerai brut peut être remplacée par un autre procédé. On peut également, grâce à un système adéquat, produire un concentré de minerai dont l’amalgamation pourra capter une quantité d’or égale ou supérieure, mais en utilisant beaucoup moins de mercure, voir aucun mercure.



**exemple**

*Les plaques de cuivre: le minerai broyé, sous forme semi-liquide, est versé sur des plaques préalablement revêtues de mercure. Les particules d’or adhèrent au mercure et cet amalgame est ensuite récupéré par grattage. (Colombie).*

## 1.2 Amalgamation du minerai concentré (AMC)



Cette technique nécessite tout d'abord de concentrer l'or (réduire la masse du minerai) avant amalgamation, typiquement en utilisant la gravité. Le mercure est utilisé seulement sur le minerai concentré qui contient les métaux lourds et l'or. Pour cette technique, le rapport mercure utilisé/or produit est beaucoup plus bas qu'avec l'AMB (généralement de 1 pour 1 à 1,3 pour 1), et très peu, ou aucun mercure ne se retrouve dans les rejets de lavage. Même si moins de mercure est rejeté dans l'environnement, cette technique peut tout de même exposer les mineurs de façon importante par voie d'inhalation, surtout si on n'utilise pas d'équipement de sécurité (cornue ou hotte aspirante).

### exemple

*Cet exemple débute avec un sluice, mais d'autres méthodes peuvent être utilisées pour concentrer le minerai.*

1 *Traitement qui permet de créer un concentré: dans ce cas-ci, on utilise un sluice (ou table de lavage). Les particules d'or qui sont plus lourdes sont piégées par les tapis de lavage lorsque le mélange semi-liquide (de minerai et d'eau) passe sur la surface inclinée.*

2 *Le minerai concentré est récolté en lavant le tapis dans un bassin. Du savon détergent est souvent utilisé.*



3 *Le mercure est ajouté au minerai concentré.*



4 Souvent, on incorpore le mercure à la main. Le mercure attire les particules d'or dans un liquide lourd qui se dépose dans le fond du bassin.

5 Le mercure, qui contient maintenant l'or, est soigneusement séparé du minerai concentré par lavage à la battée.



6 Le mélange mercure-or est filtré à travers une pièce de tissu afin de séparer le mercure liquide résiduel (pour le réutiliser) de l'amalgame mou argentié qui contient typiquement 50% d'or et 50% de mercure.



7 L'amalgame est chauffé pour évaporer le mercure, ce qui produit l'or spongieux. Le terme "or spongieux" fait référence à sa texture poreuse.

## Chapitre 2 - Solutions

Ce chapitre présente des solutions techniques qui permettent de réduire l'utilisation du mercure dans les EMA. À chaque étape de l'exploitation minière, plusieurs opportunités existent pour améliorer les pratiques et réduire l'utilisation du mercure. Ces techniques réduisent souvent les coûts puisqu'elles améliorent la technologie et l'efficacité du procédé.

Ce chapitre présente:

Comment identifier les solutions appropriées: celles qui fonctionneront

Comment réduire l'utilisation du mercure en améliorant la concentration du minerai

Comment réduire l'utilisation du mercure grâce à des techniques améliorées

Comment supprimer l'utilisation du mercure à l'aide de techniques sans-mercure



Ces enfants font partie d'une communauté d'orpailleurs du Mozambique en cours de formalisation afin d'obtenir un statut légal, ce qui inclut de meilleures pratiques minières, une réduction de l'utilisation du mercure et une amélioration du niveau de vie.

## 2.1 Identifier les solutions appropriées

La réduction de l'utilisation du mercure sera plus largement acceptée et pourrait devenir permanente si les revenus des mineurs sont maintenus, voir augmentés. Ceci peut être réalisé de plusieurs façons :

1. Conserver ou éliminer les réactifs, mercure inclus, ce qui permet de réaliser des économies.
2. Gagner du temps en améliorant l'efficacité du traitement.
3. Récupérer plus d'or en améliorant les techniques d'extraction, par exemple en utilisant de meilleures techniques ou en utilisant mieux les techniques déjà présentes.
4. Obtenir de meilleurs prix pour l'or produit en suivant des standards qui le permettent. Par exemple, le standard d'or équitable développé par l'Alliance pour une Mine Responsable (ARM) et le Fair Trade Labelling Organisation (FLO). Cette approche permet aux mineurs d'obtenir une prime pour la mise en oeuvre de bonnes pratiques selon le mécanisme du Commerce Équitable.

## Une approche en deux étapes

Les interventions techniques visant la réduction du mercure peuvent souvent suivre une approche progressive en deux étapes, et dans certains cas, passer directement à la deuxième étape.

Étape 1: Réduire l'utilisation et les émissions de mercure en améliorant les pratiques, ce qui utilise moins de mercure. C'est profitable pour les mineurs en terme de revenus, cela améliore leur santé (moins d'exposition au mercure), les sensibilise aux risques, et contribue à développer de meilleures relations nécessaires pour passer à l'étape 2.

Étape 2: Éliminer l'utilisation du mercure en employant des techniques alternatives sans mercure, bénéfiques pour les mineurs en terme de revenus, de santé, et bénéfiques pour l'environnement.

# Schéma: Les solutions

Utiliser ce schéma pour déterminer le statut de l'opération minière  
Ceci est un guide général. Les solutions peuvent varier d'une site

## Exploitation minière et Concentration



Le chapitre deux explique plusieurs des solutions présentées ici de manière plus détaillée.

L'annexe II inclut une liste d'interventions techniques et compare les conditions nécessaires à la réalisation de ces interventions en ordre croissant de coûts.

- Excavation non-sécurisée
- Concassage et broyage inadéquat
- Sluicing manuel inadéquat
- Sluicing motorisé inadéquat et imprécis
- Planification inadéquate

- Planification de l'excavation
- Extraction sécurisée du minerai
- Concassage et broyage efficaces
- Sluicing ciblé et amélioré
- Tri à la battée amélioré
- Protocoles opérationnels établis

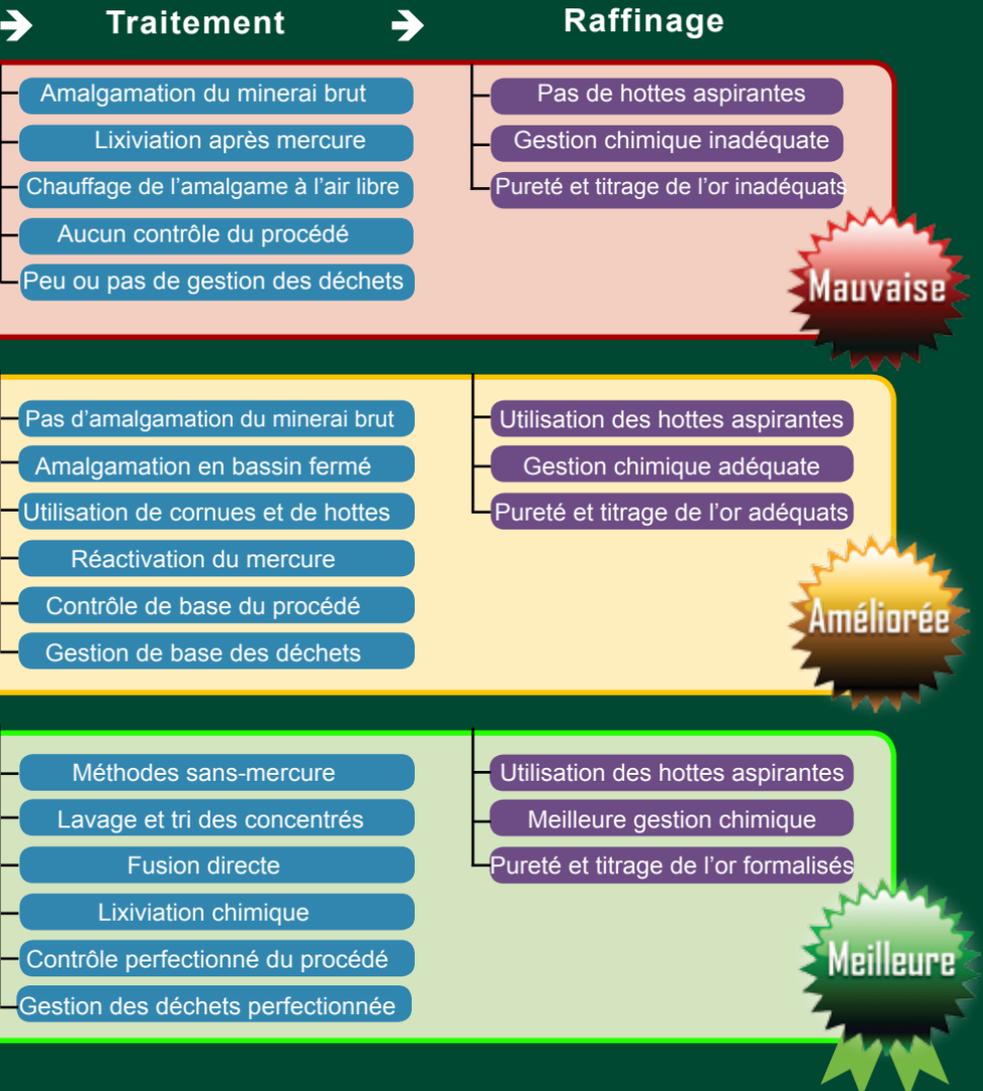
### EXPLORATION ET PRÉPARATION

Discuter avec les mineurs au stade de l'exploration peut engager des efforts de réduction et élimination du mercure. Voir la section 2.7 pour plus d'information.



- Planification de l'excavation
- Extraction sécurisée du minerai
- Concassage et broyage perfectionnés
- Sluicing efficace
- Concentration améliorée
- Protocoles opérationnels standardisés

inière et évaluer quelles solutions appliquer.  
e situation à l'autre.

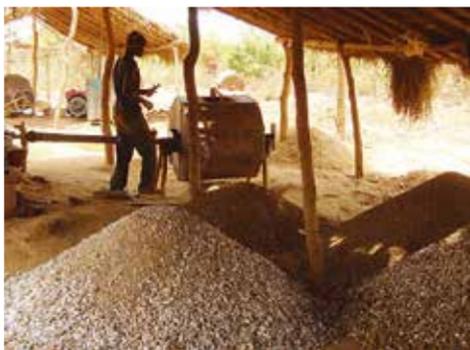


## 2.2 L'exploitation minière et la concentration

### Libération de l'or (Concassage et broyage)

Pour pouvoir concentrer l'or, il faut d'abord le "libérer". Dans le cas des gisements d'or alluvionnaires, l'or se présente naturellement en particules libres. Par contre, dans la plupart des autres types de gisements, l'or est contenu dans des minéraux et doit être séparé de ceux-ci avant d'être concentré. Cette séparation s'effectue par concassage et broyage du minerai pour obtenir une poudre.

Concasser et broyer le minerai se fait en plusieurs étapes. Le concassage primaire peut être réalisé manuellement au marteau, ou à l'aide d'une machine comme un concasseur à mâchoires. Cela produit un gravier qui peut ensuite être réduit en poudre par broyage. Un bon broyage produit des grains de grosseur uniforme, suffisamment fins pour la technique d'extraction choisie. Plusieurs types de broyeurs sont utilisés par les petits mineurs. Certains nécessitent de l'eau, d'autres non.



*Le minerai est concassé manuellement au marteau, puis broyé à l'aide d'un broyeur à boules (Tanzanie, 2010).*



*Bien qu'inefficaces, les moulins à céréales traditionnellement utilisés pour le maïs et le millet sont employés pour le broyage du minerai. Les mineurs sont obligés de passer jusqu'à trois fois le minerai dans le moulin (Nigéria, 2011). Cette méthode à sec est nocive car elle produit une quantité énorme de poussière.*

*La poussière peut être très dangereuse. Au Nigeria, dans l'état du Zamfara, cette méthode de broyage a causé une sérieuse épidémie d'empoisonnement au plomb. En effet, des enfants ont ingéré accidentellement des fragments de sol contaminés par de la poussière riche en plomb. Pour plus d'info, voir US Center for Disease Control: "Lead poisoning Zamfara, Nigeria".*





Les broyeurs à marteaux sont devenus communs pour la plupart des EMA dans de nombreux pays. Ils utilisent typiquement des moteurs de 20-30 chevaux-vapeur. Photo ci-dessus (Mali, 2011): Le minerai est chargé manuellement par l'opérateur, le broyeur fonctionne à sec ou avec de l'eau. Les marteaux broient le matériel qui passe ensuite par un tamis. Quand il y a de l'eau, le minerai passe directement dans un sluice incliné pour produire le concentré qui sera ensuite amalgamé au mercure. Par manque de contrôle de la taille du grain, cette méthode ne permet pas de récupérer plus de 30% de l'or contenu dans le minerai.

*Ci-contre: un broyeur à pilons servant à réduire la roche en particules de la taille d'un pois avant le passage à la meule (Sulawesi, Indonésie, 2007).*



## L'importance de la taille des grains (granulométrie)

Il est généralement plus facile de concentrer le minerai si les particules sont d'une grosseur similaire. Pour cela, on peut se servir de tamis. L'utilisation de tamis, simple et peu coûteuse, peut améliorer la récupération de l'or dans la plupart des situations.



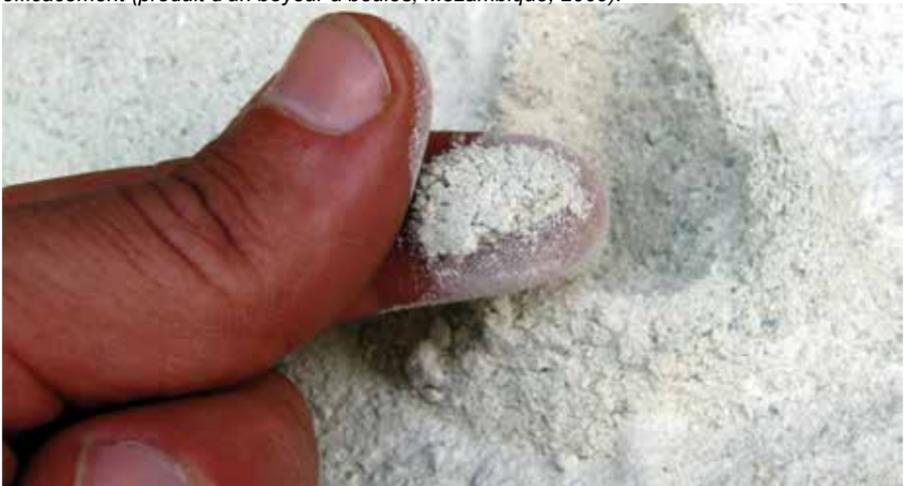
*Photos: les mineurs concassent manuellement les pierres dans un mortier en acier et puis utilisent un tamis afin de produire un lot de minerai fin qui sera utilisé dans l'étape de concentration (Mali, 2011).*

*Cette photo montre le tamis qui se trouve au fond d'un broyeur à marteaux. La grosseur des trous est d'environ 2mm, ce qui signifie que le matériel broyé qui passe au travers du tamis est d'une grosseur maximale de 2mm (Burkina Faso, 2011). Pour la plupart des minerais, ces trous sont trop gros, ce qui fait qu'une grande partie de l'or ne sera pas libérée et donc non-récupérée.*



Afin de libérer efficacement les particules d'or par broyage de façon efficace et adéquate, il faut bien comprendre l'importance de la taille des particules d'or. D'une manière générale, le broyage est efficace quand la taille des grains de minerai est "inférieure à 0,5mm (0,02 pouces; 35 mesh)", mais dans la plupart des opérations de broyage menées par les orpailleurs, les grains sont insuffisamment broyés (2mm ou 0,08 pouces; 10 mesh) ce qui aboutit à une faible libération des particules d'or. Il est donc important de réaliser des essais de libération et de récupération de l'or sur différents échantillons pour améliorer nettement la récupération.

*Dans de nombreux gisements de roches dures, l'or n'est pas présent sous forme "d'or visible", et la roche doit être broyée extrêmement finement afin que les particules d'or soient libérées efficacement (produit d'un broyeur à boules, Mozambique, 2009).*

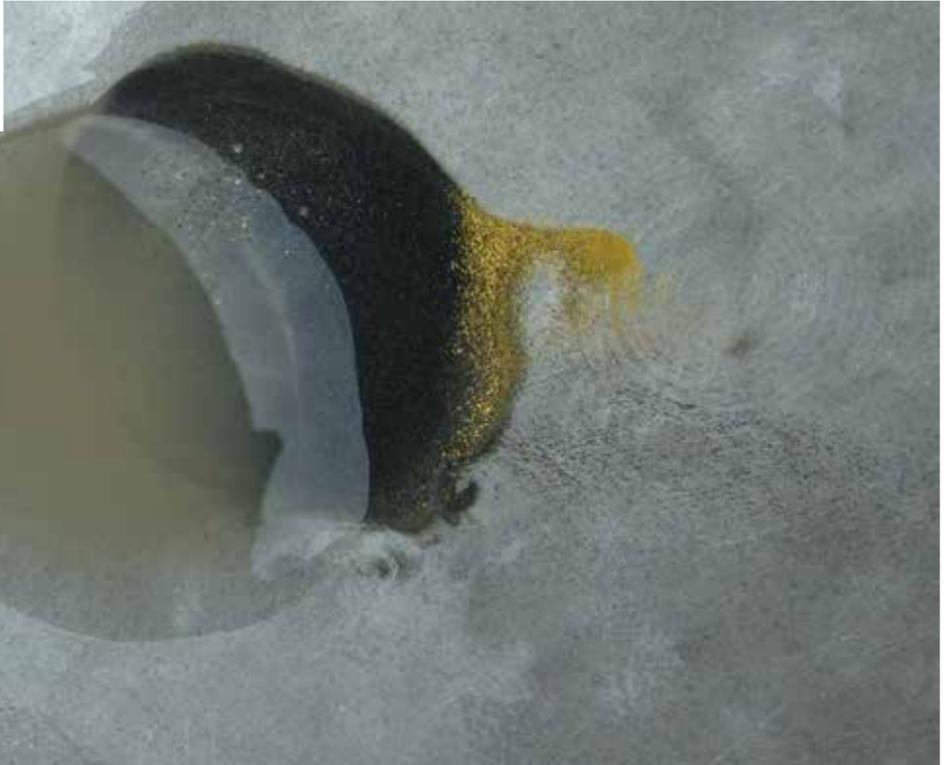


## 2.3 Améliorer la concentration

Produire un minerai concentré est une étape essentielle de l'exploitation aurifère. Lorsque cette étape est bien réalisée, elle peut permettre de réduire significativement ou même d'éliminer l'utilisation du mercure.



La concentration du minerai peut être effectuée de différentes façons et en plusieurs étapes, en utilisant la gravité pour séparer les particules lourdes, comme l'or, des particules plus légères. En concentrant, on réduit la masse du matériel à traiter, et il n'est plus nécessaire d'utiliser la technique d'AMB. On diminue aussi la quantité de mercure requise pour l'amalgamation jusqu'à un ratio d'environ une partie de mercure pour une partie d'or récupéré. De plus, si le mercure est recyclé, on diminue les pertes de mercure de 95%. Si la concentration est bien effectuée, elle peut supprimer complètement l'utilisation du mercure.



Le choix d'une technologie de production du concentré dépend du type de minerai, de la grosseur et de la minéralogie de l'or, de l'accès au capital, et du savoir-faire du mineur pour l'acquisition et le bon fonctionnement du matériel. L'annexe 2 présente une liste générale des exigences et coûts de certaines interventions techniques. Seuls les mineurs impliqués dans une exploitation minière formelle ayant accès à des financements pourront accéder aux techniques les plus coûteuses.

Les orpailleurs peuvent perdre entre 25 et 75% de l'or pendant le processus de concentration, en général à cause de mauvaises pratiques. Il est fréquent que les rejets de lavage contiennent une quantité suffisamment significative d'or pour qu'ils soient éventuellement retraités par d'autres méthodes telles que la lixiviation.

## Sluices (ou tables de lavage)

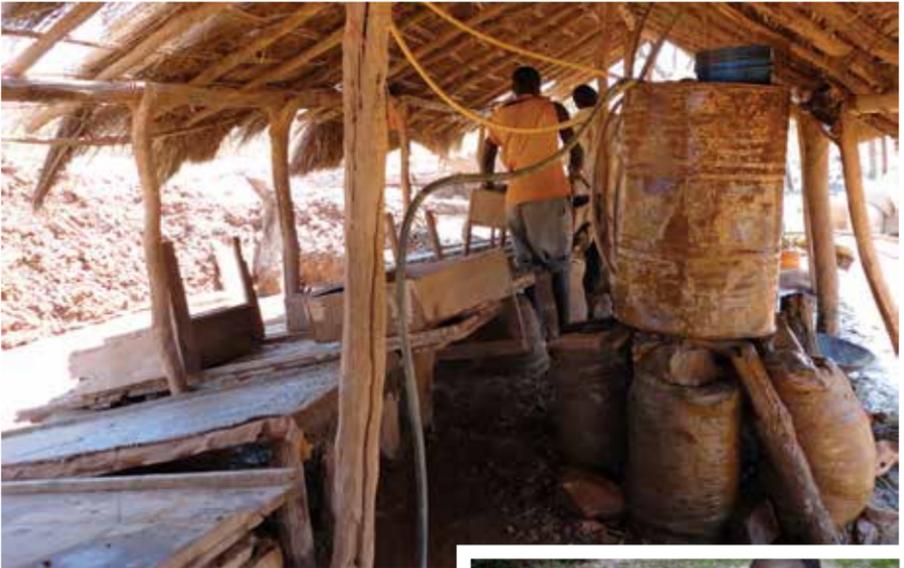


Les sluices fonctionnent sur un principe simple. Dans un courant d'eau, les particules les plus lourdes se déposent au fond, alors que les particules les plus légères ont tendance à être transportées en aval et déchargées. Une surface rugueuse, typiquement un tapis, peut capter l'or et d'autres particules lourdes. Tout comme une balle roulant le long d'une pente inclinée, le flux et la dynamique augmentent avec la distance, ce qui fait que la capture de l'or est plus efficace en haut de la table qu'en bas, ceci en particulier pour les fines particules d'or. Dans le cas ci-dessous, la majorité de l'or est donc captée dans le premier mètre du sluice. Des modèles plus sophistiqués existent et permettent d'éviter ce problème (voir la page suivante et page 60).

Pour que l'opération de lavage soit vraiment efficace, il est important que l'approvisionnement en eau soit constant. Lorsque des seaux sont utilisés pour déverser les sédiments et l'eau sur le sluice, une augmentation brutale du flux peut soulever les particules d'or précédemment bloquées sur le tapis et réduire la récupération finale de l'or. On peut éviter ce problème en installant un petit réservoir afin d'avoir un flux d'eau constant (voir la photo ci-contre).



*Ici, un large sluice construit en bois: charpente et planches recouvertes de plastique et de tapis (Indonésie).*



*Pour un lavage efficace, la disponibilité et l'approvisionnement en eau sont très importants. Ci-dessus, un baril de carburant est rempli d'eau. Les tuyaux qui en sortent fournissent l'eau aux sluices. (Tanzanie). À droite, l'eau est fournie au sluice par un tuyau en plastique troué (Liberia).*



Une configuration de sluices en zigzag peut être utilisée pour diminuer la vitesse du flux d'eau et ainsi augmenter la récupération de l'or. Le sluice du haut (sluice primaire) déverse le matériel sur le second (sluice récupérateur), les deux étant inclinés à un angle de 5 à 15 degrés.

Cette combinaison de deux sluices en zigzag est souvent optimale pour la récupération de l'or (voir aussi page 60).

*Photo ci-contre: un sluice en zigzag en cours de nettoyage à la fin de la journée (Suriname).*



## Centrifugeuses



Une centrifugeuse consiste en un tambour rotatif strié qui capte l'or dans ses sillons pendant que le tambour tourne. La force appliquée sur le matériel (minerai broyé, concentré de métaux lourds, sables alluviaux, etc.) peut être de 50 à 200 fois plus grande que la force de la gravité, ce qui permet de séparer l'or des autres minéraux plus lourds d'une façon bien meilleure qu'avec un système n'utilisant que la gravité. Le matériel est généralement ajouté au tambour sous forme d'un mélange semi-liquide de 60-75% d'eau (40-25% de solides). À l'intérieur du tambour, lorsque celui-ci tourne, le matériel se déplacera vers le haut et les matériaux plus lourds tels que l'or seront piégés par les sillons, alors que le matériel plus léger passera par dessus les rebords du tambour et sera éjecté comme rejets de lavage.

Pour les petites centrifugeuses, un cycle de fonctionnement dure environ 0,5 à 2 heures. Après le cycle, le tambour doit être nettoyé et le concentré récupéré d'entre les sillons (voir la page suivante).



*La machine Icon™ de Falcon Concentrators, est conçue pour traiter jusqu'à 2 tonnes de minerai à l'heure. Ces modèles coûtent entre 5000 et 10000 \$US suivant le type. Ci-dessous, une petite centrifugeuse construite au Zimbabwe, qui utilise des barres de turbulence pour mobiliser le concentré. Ce n'est pas une machine très efficace, mais elle est relativement bon marché (1000 à 2000 \$US).*





Il existe une grande variété de modèles de centrifugeuses qui diffèrent par leur prix, les plus coûteux étant conçus avec un meilleur savoir-faire, ont une meilleure efficacité et capacité de débit.

En général, produire un concentré à l'aide d'une centrifugeuse requiert:

- d'alimenter le système en bouillie constituée de grains de grosseur relativement uniforme (un bon broyage et tamisage est important)
- un accès à de l'eau recyclée (de rejets)
- un accès à une source d'énergie
- un investissement en capital (plusieurs milliers de dollars au minimum).

Les centrifugeuses doivent être réglées selon le minerai à traiter, elles doivent être manipulées avec soin. On ajuste la taille du grain (contrôle du broyage), les vitesses d'alimentation et de rotation, et la durée du cycle. Il faut également s'assurer que le concentré reste actif (éviter le compactage entre les sillons), ce qui garantit que les particules d'or plus lourdes remplaceront les particules plus légères, et que ces dernières seront éjectées par dessus les rebords.

## Concentrateurs en spirale



Les concentrateurs en spirale permettent d'améliorer la concentration du minerai. Ce sont des sortes de battées spéciales qui ont des sillons en forme de spirale sur leur surface intérieure et qui sont montées sur un axe incliné. Ces concentrateurs peuvent fonctionner avec des concentrés allant de quelques grammes à plusieurs kilogrammes. Le minerai concentré produit ainsi peut être adéquat pour un traitement sans-mercure, comme la fusion directe (voir page 52).

Généralement, un petit moteur alimenté par une batterie fait tourner le concentrateur alors que les spirales sont aspergées d'eau. Le minerai est ajouté au fond de la battée par cuillères successives.

Les minéraux lourds se font soulever dans les spirales alors que l'eau emporte les minéraux plus légers vers le bas du concentrateur. Les particules lourdes telles que l'or demeurent dans les spirales et sont progressivement soulevées pour atteindre un trou central où elles s'échappent et sont recueillies dans un récipient.

*Un mineur utilise ici un concentrateur en spirale dans le stade final de concentration du minerai (Amérique du Nord).*



## Vortex



Les vortex permettent d'améliorer la concentration. Durant la dernière étape de production d'un concentré de haute qualité, les vortex sont particulièrement efficaces pour capturer l'or fin.

À l'intérieur d'un bol de 30-50cm de diamètre, un tuyau injecte de l'eau latéralement, ce qui crée un tourbillon qui finit par s'écouler au niveau d'un trou surélevé situé au centre du bol.

Quand le concentré est placé dans le bol, les particules légères sont mises en suspension par le tourbillon, les particules lourdes (ex. or) restent au fond. Les particules en suspension passent par le trou central et s'écoulent dans un seau placé sous le bol.

Le débit d'eau peut être fourni par une pompe ou par un récipient d'eau surélevé. Pour de meilleurs résultats, il faut utiliser de l'eau propre. Les vortex sont peu coûteux et très simples à mettre en oeuvre.





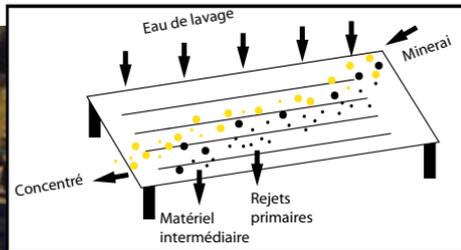
## Tables vibrantes

Une table vibrante se compose d'une surface légèrement inclinée et striée par de fins sillons, d'un rebord surélevé le long de son extrémité inférieure, et d'un moteur pour faire vibrer la table. Le minerai et l'eau sont répandus en haut de la table. L'inclinaison, le débit de l'eau, et la vibration entraînent les particules de minerai vers le bas de la table. Les particules légères passent plus facilement par dessus les arrêtes des sillons au contraire des particules lourdes, ce qui permet leur séparation et la concentration des particules lourdes (voir le schéma).

Les tables vibrantes sont un excellent moyen pour séparer l'or libre et également pour produire des concentrés de minerai à haute teneur en or (de plus de 50%). Dans ce cas, l'or doit ensuite être extrait du concentré par un autre procédé (fusion directe, gravité ou fusion chimique). Les désavantages des tables vibrantes sont qu'elles peuvent être chères, nécessitent une formation et une attention particulières pour les faire fonctionner de manière efficace. Aussi, elles ne seront probablement accessibles qu'à des mineurs organisés ayant la possibilité d'investir.

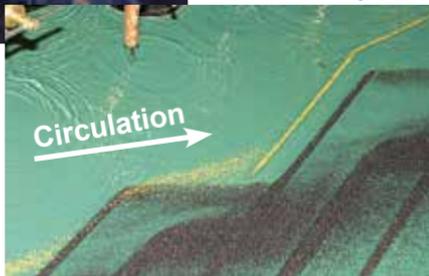


*Photo ci-contre: Séparation de l'or jaune et du sable noir sur une table vibrante. Les particules circulent suivant la direction imposée par les sillons à la surface de la table.*



*Schéma d'une table vibrante*

*Photo: Grande table vibrante d'une petite usine de traitement sans mercure en Mongolie.*



## Procédé de Flottation

Ce procédé utilise les différences de propriétés de surface des matériaux pour les séparer. Des agents chimiques sont introduits dans le mélange semi-liquide de minerai pour produire une écume riche en minéraux. L'écume peut ensuite être séparée de la surface du bain et former un concentré. Ce procédé est une des principales techniques utilisées par les grandes industries minières pour concentrer le sulfure et l'or et peut également être mis en oeuvre à plus petite échelle.

Le principe repose sur la possibilité d'attacher des bulles ou autres matériaux flottants à la surface de certains minéraux en fonction de leur "mouillabilité". Un minéral hydrophile sera facilement mouillé alors qu'un minéral hydrophobe va repousser l'eau. De nombreux minéraux peuvent être séparés par flottation tels les silicates, les sulfures, les oxydes et les carbonates, alors qu'ils ont une densité similaire et ne pourraient être séparés que difficilement par gravité. Ce procédé de flottation permet donc le traitement de minerais complexes, difficiles à traiter par les méthodes utilisant la gravité.

*Ici, un système de flottation qui débute avec un concasseur, puis un broyeur suivi d'un sluice pour concentrer l'or grossier et enfin la cellule de flottation. Un concentré de sulfures riches en or est écumé à l'aide d'une écumoire à pales. L'or présent dans le concentré est ensuite extrait par cyanuration. (Équateur).*



### 3 étapes principales:

1. Ajouter l'agent réactif au mélange semi-liquide de minerai concassé et d'eau pour rendre les minéraux hydrophobes
2. Faire mousser pour que les bulles d'écume remontent les minéraux désirés à la surface du mélange
3. Séparer l'écume pour produire le concentré

## Tri à l'Aimant



Les aimants sont souvent utilisés pour améliorer la concentration et ôter les minéraux magnétiques (tels que la magnétite). Ces minéraux magnétiques sont typiquement de couleur sombre, mais certains comme la pyrrhotite (sulfure de fer) peuvent être de couleur bronze et avoir un éclat métallique.



On utilise un aimant pour enlever les minéraux indésirables sans perdre l'or. En plaçant sous la batée, on aimante les minéraux magnétiques et on les sépare des minéraux non-magnétiques. Fréquemment, il est nécessaire de sécher les minéraux par chauffage avant d'utiliser l'aimant, ce qui a pour effet d'augmenter les propriétés magnétiques de certains minéraux. Une feuille de papier ou de plastique peut être placée sur l'aimant pour faciliter ensuite le retrait des minéraux de sa surface.





Les aimants sont aussi utilisés dans la fabrication de sluices à tapis de magnétite. Dans certains cas, ces sluices magnétiques améliorent significativement la récupération de l'or fin présent dans les concentrés. Une fine feuille de magnétite est placée sur un petit sluice. Les particules de minéraux magnétiques se collent sur cette surface, formant un lit dans lequel les particules d'or fin se déposent. Sur sa longueur, le sluice est revêtu de bandes magnétiques polarisées.



## 2.4 Traitement et Raffinage

### Éviter de faire chauffer l'amalgame à l'air libre



Après avoir formé un amalgame, il faut le chauffer pour que le mercure s'évapore et récupérer l'or. Cette étape, quand elle est réalisée à l'air libre, libère les vapeurs de mercure directement dans l'air. Il est également possible de chauffer l'amalgame dans un dispositif comme une cornue ou une sous une hotte aspirante (brulage en circuit fermé) pour capturer les vapeurs de mercure.

Faire chauffer l'amalgame à l'air libre (brulage à l'air libre) est une mauvaise pratique, puisque les vapeurs de mercure libérées sont hautement toxiques, invisibles et inodores. Elles empoisonnent les mineurs, les marchands et acheteurs, leur famille et leur communauté. Le problème est amplifié lorsque ces marchands sont situés dans des zones urbaines très peuplées où la population peut être exposée sans le savoir. En plus du danger lié à l'inhalation directe, le mercure relâché dans l'atmosphère a la capacité de circuler à travers le monde, causant un problème de pollution globale et contaminant les écosystèmes et les chaînes alimentaires, en particulier les poissons.



*Exposition aigüe aux vapeurs de mercure par inhalation: Ci-dessus : on fait chauffer un amalgame en le plaçant sur une braise de bois et en soufflant sur la braise pour la rendre plus chaude (Mozambique). À gauche: un jeune mineur fait chauffer un amalgame en utilisant une bougie et une cuillère (Indonésie).*



*Les commerces où les hottes aspirantes ne sont pas utilisées ont souvent des concentrations ambiantes de mercure extrêmement élevées et continues, même lorsqu'un amalgame n'est pas en train d'être chauffé.*

*Certains sites utilisent un système de cheminées quand de grandes quantités d'amalgame doivent être chauffées, par exemple suite à l'amalgamation du minerai brut (AMB) (Central Kalimantan). Avec cette technique, la communauté tente de réduire les risques de santé associés à l'inhalation des vapeurs de mercure. Cependant, cette pratique ne réduit en aucun cas les impacts écologiques et expose immédiatement et significativement la population au mercure. Il existe de bien meilleures approches, telles que l'élimination de l'AMB et le chauffage de l'amalgame en circuit fermé.*



Bien qu'idéalement, il soit préférable de traiter et de raffiner le minerai sans mercure, il est réaliste d'envisager dans une première phase la réduction de l'utilisation du mercure, plutôt que son élimination totale. Avec le temps, cela peut permettre d'ouvrir la voie à l'utilisation de techniques sans-mercure .

## 2.5 Améliorer le traitement et le raffinage

### Les Cornues



Les cornues ou les hottes aspirantes peuvent et devraient être utilisées pour capturer et recycler le mercure, et éviter le chauffage de l'amalgame à l'air libre. Des modèles simples et peu coûteux permettent de réduire les émissions de 75 à 95%. En recyclant le mercure, mineurs et marchands réduisent leur consommation de mercure et leur coûts de traitement.

Ce recyclage du mercure peut être une première phase importante vers la transition pour un traitement et un raffinage sans mercure.



L'amalgame est enfermé dans la cornue, ici en acier inoxydable. Le mercure peut ensuite être réutilisé.

*(1) L'amalgame est placé dans une cornue en acier inoxydable; (2) La cornue verrouillée est placée sur un brûleur à gaz; (3) Les vapeurs de mercure s'échappent dans le tube d'acier recourbé (condenseur) où elles refroidissent et se condensent. Les gouttes de mercure sont récupérées dans un récipient contenant de l'eau froide. On peut ouvrir la cornue quand celle-ci aura complètement refroidi et récupérer l'or.*



- Dès qu'une cornue a été utilisée, elle est contaminée par le mercure. Elle doit être manipulée avec soins, conservée dans un endroit sécurisé, et des précautions doivent être prises lors du transport à l'intérieur d'un véhicule ou d'un sac à dos, afin d'éviter toute exposition au mercure.
- Les cornues ne doivent jamais être utilisées par des enfants ou des femmes en âge de procréer.
- Les cornues ne doivent être utilisées que dans des endroits bien aérés, à l'extérieur ou de préférence sous une hotte aspirante.
- Les cornues ne doivent pas être ouvertes avant refroidissement total. Sinon, des vapeurs de mercure peuvent s'en échapper.



Plusieurs types de cornues sont utilisés par les petits mineurs. Pour choisir le bon modèle, l'utilisateur doit connaître ses besoins spécifiques. En haut à droite: les 3 pièces nécessaires pour former une cornue 'bol de cuisine', un modèle simple et peu coûteux: un bol en verre, une battée en métal et une tasse en émail (Colombie).

En bas à droite: la cornue 'bol de cuisine' utilise du sable mouillé afin de sceller les coutours du bol en verre retourné (CASM, réunion au Mozambique).

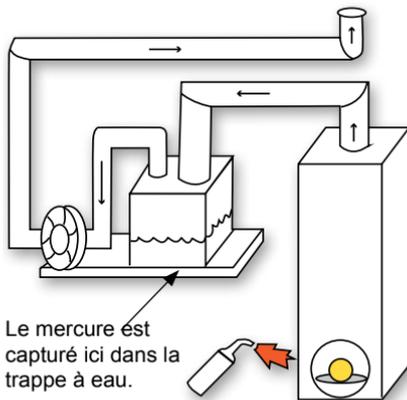
En bas à gauche: de grandes cornues conçues pour de grandes quantités d'amalgame (Indonésie). Il existe plusieurs autres modèles de cornues.



## Hottes aspirantes

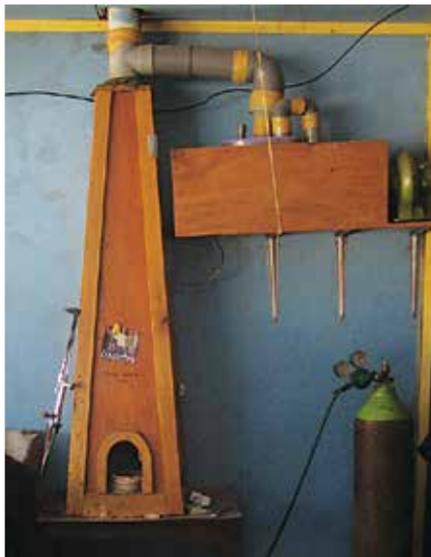


Tout comme les cornues, les hottes aspirantes doublées d'un système de capture du mercure peuvent réduire les émissions et l'exposition aux vapeurs. Un système bien conçu, même peu coûteux, peut capturer jusqu'à 80% des émissions. Des systèmes plus sophistiqués sont également plus efficaces mais plus coûteux et délicats à faire fonctionner. Deux types de hotte sont présentés ci-dessous.



**exemple** *Le condenseur à eau est bon marché et facile à fabriquer. Il peut être un bon complément d'une hotte aspirante. Les vapeurs de mercure sont poussées le long du système par un courant d'air (ventilateur) vers un récipient contenant de l'eau. En passant dans l'eau, le mercure se refroidit, se condense et retourne à la phase liquide puis se dépose au fond du récipient où il est isolé de l'atmosphère. Le mercure peut ensuite être recueilli et réutilisé.*

*Ci-dessus: Schéma d'installation d'un condenseur à eau. Ci-dessous: Installation dans des commerces: une hotte aspirante, un ventilateur de soufflage de 100 watt et tuyaux en PVC (Indonésie).*





**exemple** Cette hotte aspirante conçue par l'USEPA utilise un tonneau d'essence, des plaques d'obstruction et un ventilateur pour piéger les aérosols de mercure. Le tonneau est généralement attaché au système d'échappement de la hotte aspirante. Le mercure s'accumule à l'intérieur du tonneau.

Le mercure recyclé doit être traité avec précautions pour éviter la contamination et l'exposition. Il doit être recueilli et entreposé de façon sécurisée. Une bonne façon de l'entreposer est de le placer dans un récipient en verre, acier ou plastique sous une couche d'eau pour prévenir son évaporation, et de fermer le récipient hermétiquement.

## Activer le mercure



Le mercure est moins efficace pour amalgamer l'or lorsque par l'usage, il a été contaminé par d'autres substances ou lorsqu'il s'est oxydé (voir photo ci-dessous). Une méthode efficace pour "nettoyer" le mercure et l'activer a été développée par le Dr. Freddy Pantoja (Colombie). Cette méthode utilise une solution de sel de table et une petite batterie et permet d'obtenir un mercure très propre capable d'amalgamer l'or plus efficacement. On diminue ainsi la quantité de mercure utilisée et cela évite que les utilisateurs ne rejettent le mercure usagé dans l'environnement.



*A la surface du mercure usagé s'est développée une couche d'oxydes qui inhibe l'amalgamation. Ils sont la cause d'une mauvaise récupération de l'or et de pertes plus grandes de mercure.*

### Étapes

- 1 Verser le mercure dans un récipient en verre, plastique ou céramique. Ne pas utiliser de récipient en métal qui conduirait le courant électrique.
- 2 Dissoudre une grosse cuillerée de sel de table dans un verre d'eau et verser cette solution sur le mercure. L'hydroxyde de sodium (appelé de façon courante soude ou soude caustique) fonctionne aussi très bien, produit moins de déchets toxiques que le sel de table (chlorures) et est moins corrosif pour les fils de cuivre.
- 3 Brancher les fils de cuivre sur une batterie de 9 ou 12 V (une batterie de moto, par exemple). Le fil du pôle négatif est en contact avec le mercure et le fil du pôle positif dans la solution. La surface du mercure se nettoiera en 5-10 minutes. Activer le mercure juste avant l'amalgamation permet d'utiliser un minimum de mercure et de maximiser la récupération de l'or.

*Des fils de cuivre sont utilisés pour brancher la pile au mercure et à la solution d'eau salée.*





À gauche: une batterie de 9V est utilisée pour activer le mercure. 6 piles de 1,5V branchées en série peuvent aussi faire l'affaire.

À droite: après avoir été activée, la surface du mercure paraît propre comme celle d'un miroir; on s'assure qu'une couche d'eau recouvre bien le mercure pour empêcher les vapeurs de s'échapper.



- ④ Pour de meilleurs résultats encore, le mercure qui a été activé peut être filtré. Pour cela, faire un trou minuscule (<1mm) au centre d'une feuille de papier à l'aide d'une aiguille et verser délicatement le mercure. Les impuretés et les oxydes seront piégés par le papier. Il peut être utile de filtrer le mercure de cette façon même s'il n'a pas été activé.

Le mercure qui a été activé est entreposé de façon sécurisée dans un flacon en verre résistant. Le mercure est recouvert d'eau, le bouchon du flacon est bien scellé avec un ruban adhésif et une étiquette indique que le contenu est un produit toxique.

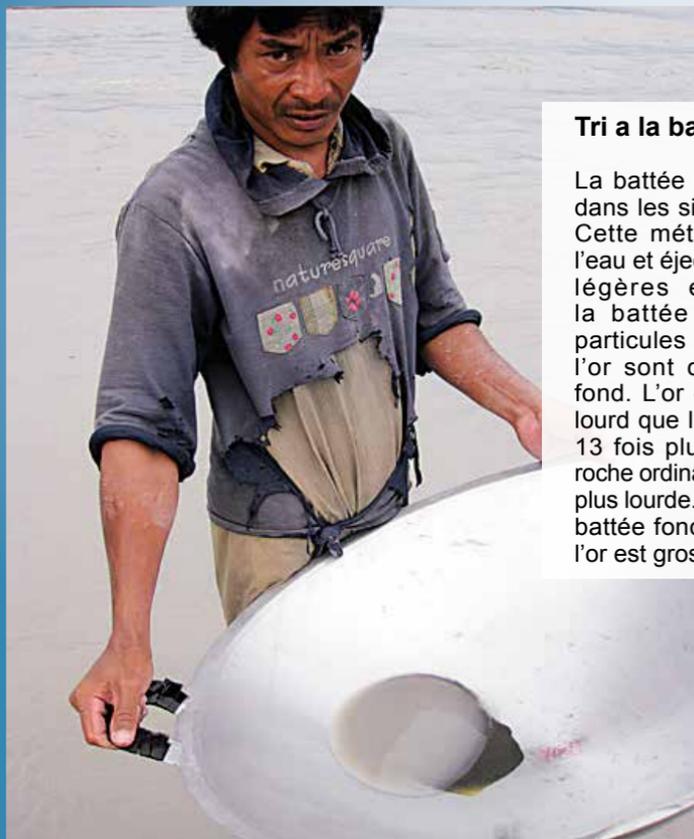


## 2.6 - Éliminer l'utilisation du mercure: les procédés qui n'utilisent pas le mercure



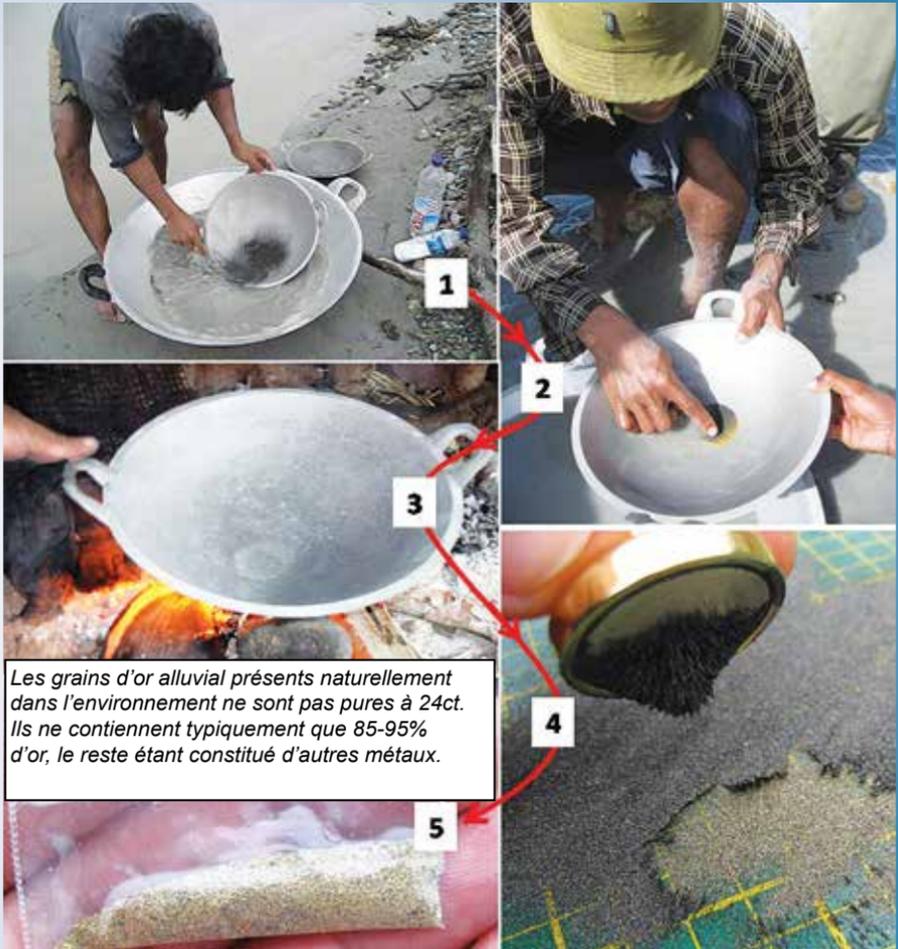
### Par gravité

Les méthodes les plus couramment pratiquées dans l'orpaillage pour concentrer le minerai sont celles utilisant la gravité. C'est simple et efficace puisque l'or est lourd: environ 7 fois plus lourd qu'une roche ordinaire de la même grosseur. Il y a plusieurs techniques pour concentrer le minerai par gravité: des méthodes de base comme le tri à la battée et au sluice, aux méthodes plus complexes utilisant centrifugeuses et tables vibrantes.



#### Tri a la battée

La battée est très utilisée dans les sites d'orpaillage. Cette méthode utilise de l'eau et éjecte les particules légères en dehors de la battée alors que les particules lourdes comme l'or sont concentrées au fond. L'or est 19 fois plus lourd que l'eau, le mercure 13 fois plus lourd, et une roche ordinaire environ 3 fois plus lourde. Le simple tri à la battée fonctionne mieux si l'or est grossier et libre.



Les grains d'or alluvial présents naturellement dans l'environnement ne sont pas purs à 24ct. Ils ne contiennent typiquement que 85-95% d'or, le reste étant constitué d'autres métaux.

Les photos ci-dessus montrent des mineurs qui trient à la battée un concentré obtenu par le sluice (1,2), et qui ensuite le font chauffer pour le sécher (3) afin d'en retirer les minéraux magnétiques (4) pour finalement produire de l'or de grande qualité (5). Ce procédé prend environ 1,5 heure.

## Par fusion directe

- Une petite quantité de minerai concentré produite par tri à la battée ou table vibrante est fondue pour séparer l'or des autres minéraux.
- Cette méthode est parfois appelée "méthode Borax" parce que le minerai de bore (borax, tétraborate de sodium) est souvent utilisé comme fondant pour faciliter la fonte (diminution de la température de fusion). Il est à noter qu'il est plus important d'appliquer de meilleures techniques au stade de la concentration du minerai (broyage, sluice, etc.) plutôt qu'à l'étape de la fusion. Ce nom de "méthode Borax" est trompeur puisque cette technique s'applique sur du minerai déjà hautement concentré, à la fin du processus de concentration de l'or. Un nom plus approprié serait "par fusion directe". D'autres fondants que le borax peuvent également être utilisés pour faciliter la fusion.
- Les marchands utilisent une approche semblable pour produire de l'or brut solide à partir de poussières d'or ou d'or spongieux.
- Une bonne concentration préalable du minerai est une condition indispensable pour procéder à la fusion directe.

La fusion directe est une alternative de traitement du minerai sans mercure, mais elle ne peut pas remplacer directement une méthode utilisant le mercure puisqu'elle n'est pas appliquée au même stade. De plus, le mercure est normalement utilisé sur des quantités assez importantes de minerai concentré (par exemple 20 kg de minerai concentré par le sluice) alors que la fusion directe est plutôt utilisée sur de petites quantités de minerai hautement concentré, généralement moins de 100g. Lorsqu'on utilise un concentré provenant d'un sluice, après le stade de concentration utilisant le mercure, il faut concentrer de nouveau avant de pratiquer la fusion directe.

### Exemple 1: La fusion directe pratiquée aux Philippines

- ① *Le concentré est soigneusement réduit par triage à la battée jusqu'à l'obtention d'un concentré contenant plus de 25% d'or. Pour ne pas perdre d'or durant cette étape, on utilise plusieurs battées (voir ci-dessous).*



- ② *Le concentré est recueilli et mélangé à part égale avec du borax. Le mélange d'environ 50 grammes est versé dans un petit sachet.*

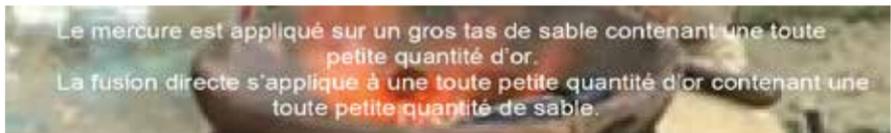
## Précisions sur la fusion directe

Le chauffage du concentré requière de l'énergie et du temps, avec toujours des pertes d'énergie. Cela signifie que faire fondre le double de la masse de concentré demandera plus du double d'énergie. Pour cette raison, il est difficile d'appliquer cette méthode à des quantités plus importantes de concentré.

La fusion directe fonctionne mieux et est plus adaptée dans les situations où de petites masses de minerai hautement concentré sont produites sans qu'il n'y ai de pertes substantielles d'or durant l'étape de la concentration. Des masses de 50 à 100 g sont idéales.

Dans certains cas, lorsque le concentré contient de l'or non-libéré et que peu d'or est perdu au cours de l'étape additionnelle de concentration, la fusion directe peut produire plus d'or que la méthode au mercure.

Dans d'autres cas, par exemple quand l'or est déjà bien libéré et que le grain est fin, les pertes d'or qui se produisent pendant l'étape additionnelle de concentration peuvent décourager l'adoption de la fusion directe.



- ③ *Un creuset en argile est pré-chauffé au chalumeau et une petite quantité de borax (5g) y est fondue.*



- ④ *Le sachet est placé dans le creuset et chauffé au charbon de bois. L'utilisation d'un ventilateur peut augmenter la température. L'opération dure 5-15 minutes. Le résultat est de l'or brut solide.*



## La fusion directe (suite)

### Exemple 2: La fusion directe développée au Ghana<sup>1</sup>

La trousse de fusion directe ghanéenne a été créée pour fondre environ 50g de concentré en 20 minutes. C'est un système efficace qui produit des résultats réguliers et de grande qualité. Faire chauffer une masse plus importante nécessitera plus de temps et de carburant, d'autres types d'équipement ou plusieurs trouses.

- ① *Produire entre 25-100 grammes de concentré contenant au moins 5% d'or.*



- ② *Placer le concentré dans un creuset d'argile résistant aux hautes températures. Si le concentré contient des minéraux sulfurés, il peut être utile en premier lieu de l'oxyder au chalumeau.*

- ③ *Mélanger une quantité appropriée de fondants et réactifs afin de diminuer la température de fusion et la viscosité des minéraux autres que l'or. La meilleure recette dépendra du type de minerai et doit être testée expérimentalement. Deux recettes plûtôt communes sont données ci-dessous.*

#1

- 1 partie de concentré
- 1/2 partie de borax
- 1/2 partie de chaux (CaO)

#2

- 1 partie de concentré
- 1/2 partie de borax
- 1/2 partie de nitrate de potassium
- 1/2 partie de silice

[1] Système conçu par le Prof. Sulemana Al-Hassan, University of Mining and Technology (UMAT), Tarkwa, Ghana.

- ④ Placer le creuset dans un four et chauffer jusqu'à ce que la température du concentré dépasse le point de fusion de l'or (1064°C) pendant au moins 5 minutes. Cela produira deux fluides distincts: les silicates fondus, fluide épais et peu dense, et un mélange de métaux fondus (or, plomb argentifère, cuivre) qui est dense et visqueux et coulera au fond du creuset.



- ⑤ Retirer le concentré fondu du four et le verser dans un récipient conique. L'or s'y déposera au fond.

- ⑥ Laisser refroidir. Retirer ensuite le moulage du récipient et séparer les billes d'or de la base en cassant le moulage avec un marteau.



## Par lixiviation: une alternative à l'utilisation du mercure

Il existe plusieurs types de lixiviation qui peuvent être une alternative à l'utilisation du mercure dans l'EMA, dans la mesure où les processus sont réalisés de manière adéquate et bien gérée. Cela nécessite donc des investissements, des formations, de la surveillance et de l'innovation.

L'industrie extractive à grande échelle qui utilisait auparavant le mercure, a cessé de le faire et changé ses pratiques pour adopter aujourd'hui les méthodes de lixiviation. La méthode la plus utilisée est la lixiviation par le cyanure (cyanuration)<sup>1</sup>. Bien que le cyanure et le mercure soient tous deux des substances dangereuses, le cyanure est un composé chimique dégradable qui peut être éliminé et n'est pas persistant dans l'environnement.

Le cyanure permet d'obtenir des taux de récupération d'or très élevés (souvent 90% de l'or contenu dans le minerai) et est peu coûteux. Pour les industries minières, les innovations dans ce procédé ont permis d'exploiter des gisements de très faible teneur en or qui auparavant n'auraient pas été rentables économiquement<sup>1</sup>.

Pour ces mêmes raisons, la cyanuration est de plus en plus pratiquée par les orpailleurs, en particulier sur les résidus de traitement, qui sont repris et retraités au cyanure. Malheureusement, la mauvaise mise en oeuvre et une gestion inappropriée du cyanure sont monnaie courante et conduisent à des niveaux de pollution locale désastreux en plus des nouveaux risques sur le chantier. Dans ces cas-là, il faut développer de meilleures pratiques ou des méthodes alternatives.



À gauche: Petite usine de traitement du minerai par cyanuration dans des cuves en ciment. En bas à gauche: La solution de cyanure s'écoule des cuves. Au centre: Le charbon actif utilisé pour absorber les complexes or-cyanure de la solution. En bas à droite: Un laboratoire de chimie et l'équipement de sécurité disponible sur le site, et les mineurs formés à leur utilisation (Tanzanie).



[1] Müller J., and Frimmel H.E. (2010). Numerical Analysis of Historic Gold Production Cycles and Implications for Future Sub-Cycles, The Open Geology Journal, 4, 29-34.

Il est de plus en plus commun dans le secteur de l'EMA de retraiter les rejets de lavage qui contiennent encore de l'or, puisque c'est une option intéressante économiquement. Cependant, c'est une mauvaise pratique que d'utiliser le cyanure si ces rejets de lavage sont contaminés par le mercure. En effet, cette pratique crée des composés chimiques mercure/cyanure qui sont facilement dispersables dans l'environnement et qui rendent le mercure plus bio-disponible. Ceci est discuté plus en détails en p.64.



Mauvaise

Un des problèmes majeurs de l'utilisation du cyanure dans les EMA est le manque de gestion des déchets. Dans certains cas, des structures sont en place pour contenir les déchets et des efforts pour en améliorer la gestion ont été faits. Cependant, ce domaine a grandement besoin d'être amélioré.

Retraiter les rejets de lavage pour en extraire l'or restant, tout en ayant un système adéquat de gestion des déchets, est une façon de remédier à certains de ces problèmes.

*Une innovation qui peut aider avec la gestion des déchets est la pré-concentration et la lixiviation en broyeur<sup>[2]</sup>. La pré-concentration produit un concentré qui minimise la quantité de cyanure (ou autres lixiviants) requise. Cette étape est suivie par la "lixiviation en broyeur", où l'or est libéré et lixivié simultanément, ce qui réduit le temps nécessaire pour traiter le minerai. Les avantages de ce procédé incluent: (i) un flux de déchets réduit et moins toxique qui est plus simple et moins cher à gérer; (ii) des temps de traitements qui sont similaires à ceux des procédés qui utilisent le mercure (1 jour), ce qui permet de réduire ou d'éliminer le mercure; (iii) une récupération d'or élevée. Dans le système présenté ci-dessous, une capsule poreuse qui contient un sac de charbon actif est insérée dans le broyeur<sup>[2]</sup>.*



[2] Sousa R.N., Veiga M.M., Klein B., Telmer K., Gunson A.J., Bernaudat L. (2010), Strategies for reducing the environmental impact of reprocessing mercury-contaminated tailings in the artisanal and small-scale gold mining sector: insights from Tapajós River Basin, Brazil. Journal of Cleaner Production, vol. 18, 1757-1766.

## Modèle d'une usine de raffinage sans mercure

Avec le bon équipement et un minerai bien préparé, les méthodes utilisant la gravité peuvent être employées seules pour récupérer une grande quantité d'or. Le système présenté dans les pages suivantes a été installé en Mongolie<sup>[1]</sup> et récupère environ 70% de l'or contenu dans le minerai. Ceci représente un pourcentage de récupération relativement élevé pour une petite mine artisanale.



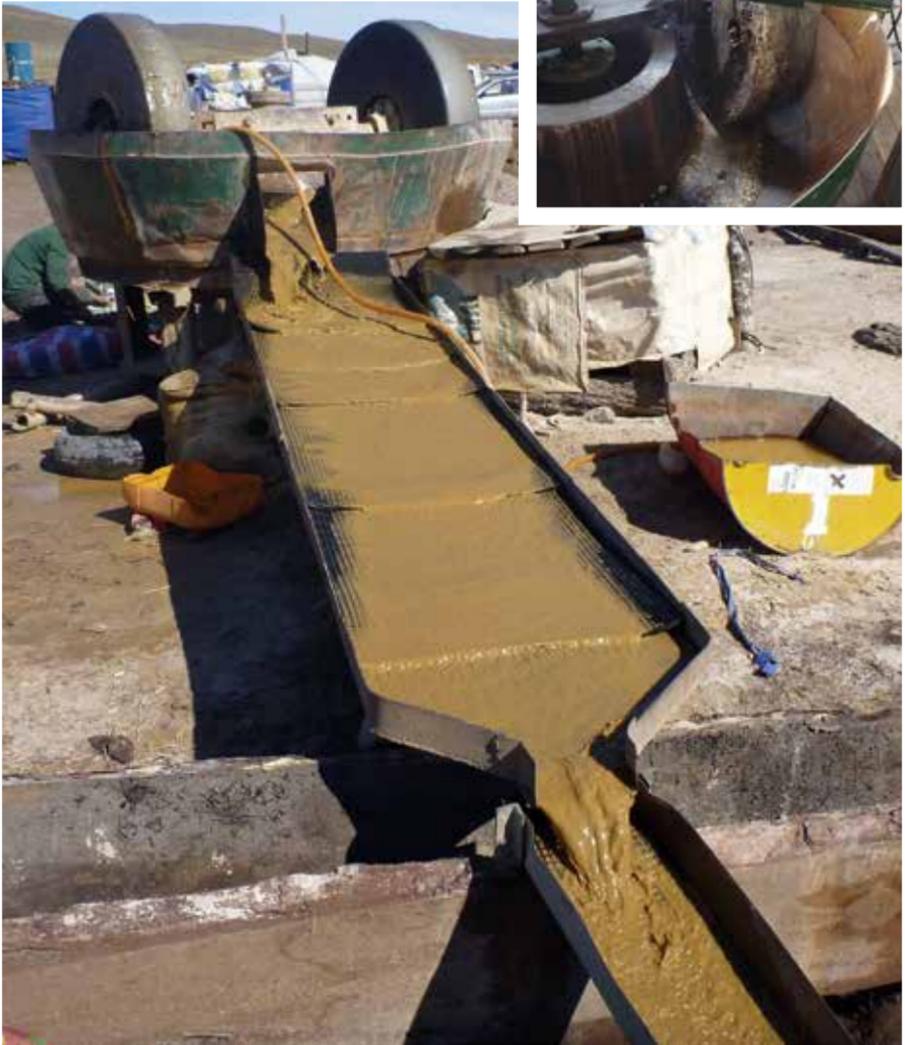
- ① *La roche aurifère est extraite d'un puits de mine bien construit.*



- ② *À l'aide d'un concasseur à mâchoires, la roche est concassée jusqu'à l'obtention d'une taille de grains de 1 à 2 cm.*

[1] Le projet SAM (Sustainable Artisanal Mining) et la conception de l'usine sont le fruit d'une collaboration entre le gouvernement de la Mongolie et l'agence de Coopération et Développement Suisse (SDS).

- ③ *Un broyeur chilien est utilisé pour broyer les grains. Une grande proportion de l'or restera dans le broyeur. La poudre rocheuse s'écoule avec l'eau dans le sluice primaire et ensuite dans un second sluice qui capturera l'or fin.*





④ Le concentré est retiré des tapis du sluice par lavage.

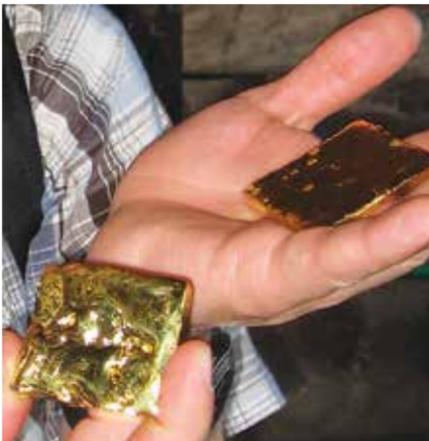


⑤ Les concentrés issus du broyeur et du sluice sont tous deux traités par la table vibrante pour une deuxième étape de concentration.



*Le concentré d'or provenant de la table vibrante.*

⑥ *Le concentré est ensuite fondu (avec du borax) et versé dans des moules en fer. Dans cet exemple, ces lingots d'or non-raffinés (or solide brut) sont purs à ~94%, bien que cela dépende du type de minerai.*



⑦ *Les rejets de lavage issus de ce procédé sont gérés de façon appropriée. Ils sont stockés sur le site en vue d'être retraités, puisqu'ils contiennent encore 30% de l'or. Ceci pourrait être fait par flottation ou lixiviation.*

## 2.7 - Sujets connexes

### Types de filons aurifères, exploration et planification

L'exploration est l'un des aspects les plus difficiles du secteur minier et du travail des orpailleurs. La prospection, de type essai-erreur, est faite en se déplaçant sur le terrain et en testant la teneur en or du sol. Dès le stade de l'exploration, il y a une importante opportunité d'engager les efforts nécessaires pour la réduction et l'élimination du mercure, et cela par une communication adéquate avec les mineurs. En planifiant la meilleure façon d'extraire le minerai, on peut maximiser l'exploitation des ressources, minimiser les surfaces de sol exploitées, améliorer la production d'or et la gestion des déchets, ce qui rend aussi la réduction de l'utilisation du mercure plus abordable et durable.

L'or est un élément chimique très rare (sa concentration dans les roches terrestres est en moyenne de 3 à 4 nanogrammes/gramme) et représente un minerai tellement précieux que même des gisements de très faible teneur en or (0,1 g/tonne) sont exploités par les orpailleurs dans les lits alluvionnaires (voir la photo aérienne ci-dessous). Par contre, les veines minéralisées (minerai primaire) peuvent contenir de 10 à 50g d'or par tonne de minerai et jusqu'à 200 g/t.

Les gisements d'or généralement exploités par l'EMA sont:

- [A] les dépôts alluvionnaires (particules d'or présentes dans les sédiments fluviaux)
- [B] les roches altérées ou les sols contenant de l'or (sapolites)
- [C] l'or contenu dans la roche dure (minerai primaire ou filonien).

Le type d'extraction possible va dépendre du type de gisement, et déterminera si le mercure est utilisé (et potentiellement éliminé). Les meilleures pratiques mises en oeuvre dans une situation donnée ne pourront pas nécessairement être appliquées dans une autre situation. Les approches pour la réduction de l'utilisation du mercure doivent correspondre au type de minerai et aux pratiques actuelles.



## Purifier l'or – la Méthode du Quartage

L'or peut facilement être purifié jusqu'à 99,5% grâce à une méthode relativement simple: la méthode du quartage. Cette méthode de purification peut permettre d'améliorer la confiance dans les relations commerciales (vente d'or plus pur) et peut procurer des profits plus élevés aux vendeurs. Elle améliore le savoir-faire local et permet de fournir dans une chaîne ininterrompue de l'or local à des artisans locaux. En connectant les vendeurs plus étroitement avec les marchés et en leur procurant de meilleurs profits, la purification de l'or peut permettre que l'influence des marchés change les pratiques vers une utilisation moindre ou sans mercure. Cette méthode de purification est particulièrement utilisée en Asie.

La méthode du quartage implique la fonte d'une partie d'or solide brut avec 2,5 parties d'argent. Le mélange or-argent fondu est refroidi et digéré par l'acide nitrique. L'or n'étant pas soluble dans l'acide nitrique, au contraire de l'argent et d'autres métaux, on obtient un résidu d'or pur. Le borax est aussi utilisé dans ce procédé pour faciliter la fonte et l'élimination des impuretés. Il est donc relativement facile de purifier l'or à partir d'or brut solide. La méthode est illustrée ci-dessous:

- ① À droite: Peser l'or brut solide et peser 2,5 fois plus d'argent. Placer le tout dans un creuset pour faire fondre le mélange.



- ② À gauche: L'argent et l'or sont fondus au chalumeau, en ajoutant une petite cuillerée de borax ou autres fondants pour aider la fusion et enlever les impuretés minérales.



③ À gauche: Verser l'alliage fondu or-argent d'une hauteur d'un mètre dans un seau d'eau contenant au fond un bol en acier. Ci-dessous: Lorsque le métal fondu se fige dans l'eau, il forme des granules: un gravier d'or et d'argent.



④ Digestion à l'acide: Placer le gravier or-argent dans un flacon Erlenmeyer. Ajouter 20mL d'acide nitrique pur par gramme d'or et faire bouillir le tout pendant 10 minutes. NOTE: L'acide usé doit être recueilli afin d'en retirer l'argent dissous, et doit être entreposé de façon adéquate.



NOTE: Les vapeurs d'acide nitrique sont toxiques et ne doivent pas être inhalées. Un piège à eau, une hotte aspirante et une bonne ventilation sont nécessaires pour éviter l'exposition humaine et environnementale.



- 5 L'or restant dans le flacon ressemble à une boue brune. La laver dans une battée en acier et la rincer à l'eau propre. Égoutter l'eau et sécher l'or à basse température.



- 6 Finalement, placer l'or sec dans un creuset qui peut supporter les hautes températures. Faire fondre l'or au chalumeau et verser l'or fondu dans une barre ou un bouton.



Pour récupérer l'argent dissous dans l'acide, placer une barre de cuivre dans l'acide usagé contenu dans un seau en plastique. Des billes d'argent vont précipiter au fond du récipient. L'argent peut aussi être précipité sous forme de chlorure d'argent en ajoutant du sel de table à l'acide usagé - cela produit un précipité blanc. Cependant, cette méthode produit des vapeurs nocives et devrait être évitée.

## L'utilisation du mercure avant la cyanuration



Le traitement du minerai contaminé par le mercure est une mauvaise pratique. Les rejets de lavage provenant de l'amalgamation du minerai brut contiennent souvent des quantités significatives de mercure et d'or. C'est pourquoi ces rejets sont achetés par d'autres mineurs (souvent un groupe distinct) et retraités, en général par cyanuration.

Cette pratique redouble la pollution par le mercure en libérant dans l'environnement des composés mercure-cyanure. Ces composés toxiques se dispersent plus facilement dans l'eau et rendent le mercure plus bio-disponible.

Les rejets de lavage et déchets produits par cette pratique créent des sites lourdement contaminés extrêmement difficiles à nettoyer. Ces sites émettent du mercure dans l'atmosphère et contaminent l'hydrosphère ainsi que la chaîne alimentaire pendant de longues périodes.

*Cette mauvaise pratique, qui consiste à retraiter par le cyanure les rejets de lavage contaminés au mercure, est souvent utilisée par les mineurs artisanaux, qui pratiquent la cyanuration en fosse, en tas, en cuve ou cuve contenant du charbon actif. La lixiviation au cyanure est de plus en plus utilisée directement sur le minerai n'ayant pas été traité préalablement au mercure, ce qui réduit de beaucoup la pollution par cet élément. C'est aussi la manière d'opérer de l'industrie minière à grande échelle. Cependant, pour les petits mineurs, la gestion des déchets reste un défi.*





*Petites gouttes de mercure visibles dans le minerai qui a été amalgamé (AMB), avant cyanuration.*

## Éviter l'utilisation du mercure avant la cyanuration

1. Éliminer l'amalgamation du minerai brut (AMB). Pour cela, il faut concentrer le minerai avant l'amalgamation au mercure, ce qui réduit considérablement la quantité de mercure utilisée, réduit la quantité de mercure dans la phase de cyanuration et est un pas vers l'élimination totale du mercure.
2. Retirer le mercure du minerai avant de le traiter au cyanure (cela s'applique aux rejets de lavage déjà contaminés au mercure). Il n'existe pas de méthodes standards pour cela et les méthodes actuellement testées ont encore besoin de développement et de recherche.
3. Ne pas utiliser de mercure. Utiliser seulement la gravité ou d'autres méthodes de récupération de l'or avant d'utiliser le cyanure.

## La gestion des déchets et des sites contaminés

Une des principales différences entre l'exploitation minière industrielle et le secteur artisanal est que la gestion des déchets n'est pas pratiquée par ce dernier, ou de façon inadéquate, ce qui provoque la contamination de nombreux sites.

Certains pays, tels que l'Équateur et la Mongolie, ont commencé à s'intéresser à ce problème. En général, cela implique de centraliser le système de gestion des déchets (pas le traitement du minerai) en conservant les conditions individuelles et socio-économiques existantes au sein des communautés d'orpailleurs et qui sont vitales pour celles-ci. Les systèmes de gestion des déchets (dépotoir pour les rejets de lavage) accessibles et abordables pour ces communautés sont construits selon les standards internationaux.

En intégrant les besoins environnementaux et sociaux, cette approche a l'avantage de faciliter la formalisation, la légalisation, et la production de plus de richesse, puisqu'elle améliore les pratiques d'exploitation minière. Le cadre général d'une telle approche comprend:

- (a) la gestion centralisée des déchets
- (b) le traitement décentralisé: maintien du broyage individualisé
- (c) le développement d'une structure de gouvernance communautaire
- (d) l'élimination du mercure du flux des déchets
- (e) l'élimination à long terme du mercure pour le traitement
- (f) l'amélioration des pratiques d'exploitation et de traitement du minerai. Des programmes d'éducation en santé, sécurité et environnement pour sensibiliser les mineurs et amorcer l'élimination du mercure.
- (g) le nettoyage des sites contaminés: retraitement et destruction des rejets de lavage qui n'ont pas été bien gérés
- (h) l'établissement d'un système de surveillance et de mesure des progrès par évaluations environnementales.

Une stratégie de mise en œuvre de cette approche serait de construire une usine-modèle pour le traitement du minerai et des déchets, qui servirait de centre de formation et démontrerait: (i) le traitement possible du minerai sans mercure; (ii) une meilleure récupération de l'or, ou des coûts moindres par unité d'or récupérée; (iii) une gestion des déchets appropriée; et (iv) des approches pour l'innovation, la formation et la communication. L'usine-modèle est conçue pour être facilement reproductible localement.



*Mauvaise gestion des déchets, sites contaminés et une solution pour l'EMA à Portovelo, Équateur: (a) bassins de décantation des résidus peu appropriés; (b) déversement direct en rivières; (c) site contaminé par les résidus; (d) une solution: vallée adjacente (pâturage brûlé) adéquate pour une retenue des rejets, conforme aux standards internationaux et qui pourrait servir les besoins des communautés d'EMA.*

## Annexe 1. Résumé du secteur de l'OMOA

- Le secteur de l'exploitation minière artisanale et à petite échelle (EMA) est un producteur majeur d'or et le plus grand employeur au monde dans le secteur des mines. Il représente environ 15% de l'offre mondiale d'or (environ 400 tonnes) et 90% de la main d'oeuvre minière au monde
- Le nombre de mineurs estimé est d'environ 10 à 15 millions de personnes dans 70 pays, dont approximativement 3 millions de femmes et enfants
- À 1600 \$US/oz, la production d'or du secteur a une valeur brute de près de 20,5 milliards de dollars; c'est l'équivalent d'environ 2000 US\$/mineur par an
- L'économie secondaire qui en découle, en utilisant un multiplicateur de 5, représente environ 100 milliards de \$US et implique de 50 à 100 millions de personnes. À un niveau de richesse normalisé (purchasing power parity: PPP), ces personnes sont environ 40 fois plus pauvres que le citoyen américain moyen
- Il y a une interaction croissante et significative entre l'industrie minière formelle et l'EMA. La coopération avec l'industrie minière à grande échelle, tout comme les conflits, ont augmenté dans plusieurs pays.
- L'utilisation du mercure est répandue dans les opérations d'EMA. La quantité de mercure utilisée a été estimée à 1400 tonnes/an en 2011 ([www.mercurywatch.org](http://www.mercurywatch.org))
- L'utilisation irresponsable du mercure dans les EMA cause des problèmes environnementaux et de santé au niveau local et global.
- Les problèmes de pollution par le mercure sont généralement causés par des barrières socio-économiques à l'adoption de meilleures pratiques.

## Annexe 2. Coûts relatifs des interventions techniques pour un seul opérateur, en ordre de coûts croissants <sup>[1]</sup>.

Intervention technique	Coût approximatif (\$US)	Barrières
Écrans/tamis pour le tamisage	5 - 50	Demande plus de temps et de connaissances
Cornues	5 - 50	Demande plus de temps et de connaissances
Réactivation (eau salée et pile de 12 volts)	5 - 20	Demande plus de temps et de connaissances
Sluice amélioré	10 - 100	Demande de l'eau et un accès au matériel
Système de capture des vapeurs de mercure	50 - 500	Demande plus de temps et de connaissances
Trousse de fusion directe	dépend du système utilisé 100 - 2 000	Coût initial; efficace seulement sur de petites quantités de concentré de grande qualité; demande une source de chaleur efficace et des connaissances techniques
Broyage amélioré	2 000 - 10 000	Coûts initiaux élevés, demande un apport énergétique, peut nécessiter de l'eau, demande des connaissances techniques
Tables vibrantes	1 000 - 10 000	Coûts initiaux élevés, demande un apport énergétique et de l'eau, demande des connaissances techniques

[1] Établi au cours du Forum Global sur la Mine Artisanale et à petite échelle, 7-9 décembre 2010, Manille, animé par le PNUD et ses partenaires du Programme Global Mercury.

### **Annexe 3. Directives techniques de l'ONUDI sur la gestion du mercure dans les exploitations minières artisanales et à petite échelle**

#### **I. OBJECTIF**

En l'absence d'un code international de gestion du mercure dans les exploitations minières artisanales et à petite échelle (EMA), de nombreux gouvernements sont incertains quant au développement des politiques qui s'appliquent au secteur.

Les directives techniques de l'ONUDI sur la gestion du mercure dans les exploitations minières artisanales et à petite échelle (EMA) ont été rédigées afin d'aider les gouvernements à développer des politiques, législations et régulations qui permettront d'améliorer les pratiques dans l'EMA.

Ces directives s'appliquent à toutes exploitations minières légales, marchands d'or et opérations de traitement du minerai où le mercure est utilisé pour amalgamer l'or. Ces directives décrivent les normes minimales requises pour permettre une éventuelle élimination du mercure dans le secteur de l'EMA. Si possible, les mineurs devraient être encouragés à adopter des techniques appropriées de traitement du minerai qui n'utilisent pas le mercure.

L'objectif central de ces directives est d'assister le développement de lois et/ou règles par les gouvernements dans le but de: (1) réduire les émissions de mercure dans l'environnement qui ont pour source les EMA; (2) diminuer l'exposition occupationnelle ou passive au mercure; (3) éliminer les pratiques utilisant le mercure qui sont inefficaces et dangereuses; et (4) diminuer l'entreposage et l'élimination non sécurisée du mercure.

#### **II. CONTEXTE**

La formulation de ces mesures est basée sur des évaluations qui ont eu lieu dans le cadre du Global Mercury Project, et qui portaient sur la santé, l'environnement, ainsi que le secteur technique, socio-économique et légal. Ce projet a été initié avec l'appui du Gouvernement du Zimbabwe, de la Tanzanie, du Soudan, de l'Indonésie, du Brésil et du Laos, et avec l'apport de l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUDI), du Global Environmental Facility (GEF) et du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD).

On estime que plus de 15 millions de personnes sont impliquées dans l'EMA et cela dans plus de 50 pays à travers l'Asie, l'Afrique et l'Amérique du Sud. Ces activités utilisent souvent des quantités importantes de mercure lors du traitement du minerai et sont souvent réalisées dans des conditions non sécurisées et dangereuses pour l'environnement. Il est possible que jusqu'à 100 millions de personnes soient affectées (directement ou indirectement) par les émissions de mercure provenant de l'EMA, puisque le mercure est une neurotoxine qui s'accumule dans la chaîne alimentaire. Malheureusement, sa mauvaise utilisation et gestion engendrent la libération de plus de 1000 tonnes de mercure par année dans l'environnement, ce qui provoque des impacts négatifs dans divers écosystèmes, comme les eaux internationales. En général, la plupart des dangers liés à l'utilisation du mercure dans l'EMA sont semblables: des émissions de mercure énormes dans les rejets de lavage, la contamination des cours d'eau, l'inhalation de vapeurs toxiques, etc. Cependant, dans la grande majorité des pays, les lois qui régissent le secteur de l'EMA et ses conséquences environnementales sont souvent peu développées, et l'utilisation du mercure est donc souvent négligée.

### III. MISE EN OEUVRE

Les gouvernements devraient identifier dans leur pays respectif les autorités appropriées qui seront responsables de la mise en oeuvre de ces directives techniques. Les gouvernements devraient aussi apporter les modifications nécessaires à ces directives afin de les inclure dans les nouvelles lois, politiques ou règles sur l'usage du mercure qui sont en phase de développement. L'ONUDI recommande aussi que ces politiques soient adoptées par les autorités qui possèdent clairement la juridiction des exploitations minières artisanales et à petite échelle, et cela de concert avec d'autres autorités appropriées, le tout en reconnaissant que ces autorités peuvent être mieux placées pour effectuer la surveillance.

Une grande importance devrait être accordée à encourager les processus de gouvernance locale et les systèmes de surveillance communautaires. La participation des acteurs communautaires dans le processus de développement des politiques et de leur mise en oeuvre est essentielle.

Les gouvernements devraient fournir aux orpailleurs des procédés conduisant à leur légalisation, et leur donner accès à de l'éducation sur la bonne gestion environnementale. Des services d'assistance technique et éducationnelle devraient être disponibles dans chaque site où il y a une grande concentration d'orpailleurs.

Ces directives s'appliquent à toute opération à statut légal qui utilise le mercure pour amalgamer l'or, qui chauffe l'amalgame et qui procède à la fusion de l'or. Ces directives spécifient les normes minimales qui doivent être suivies pour permettre la réduction significative des émissions et de l'exposition humaine au mercure. Cependant, quand cela est possible, les orpailleurs devraient être encouragés à adopter des pratiques de traitement du minerai sans mercure.

### IV. PRINCIPALES MESURES TECHNIQUES

#### 1. RESPONSABILITÉ DES EMPLOYEURS / DES USINES DE TRAITEMENT ET DES MARCHANDS D'OR

Dans tous les cas, le titulaire du permis d'exploitation de la concession minière ou le marchand d'or devraient être tenus légalement responsables pour l'application de pratiques sécurisées au sein de leurs opérations, incluant celles qui ont trait au mercure. Ces pratiques devraient inclure des dispositions raisonnables pour prévenir l'exposition des employés ou autres personnes aux vapeurs de mercure.

#### 2. PERMIS POUR TRAVAILLER AVEC LE MERCURE

Toutes opérations titulaires d'un permis d'exploitation et qui utilisent le mercure devraient obtenir un permis spécial pour l'utilisation du mercure. S'ils désirent obtenir un permis et avant de pouvoir commencer les opérations minières, les orpailleurs devraient pouvoir démontrer aux autorités appropriées leur connaissance de ces directives et leur intention de s'y conformer.

#### 3. AUCUNE AMALGAMATION DU MINERAI BRUT

L'amalgamation du minerai brut ne devrait jamais être réalisée par les opérations d'EMA, que ce soit par l'utilisation de plaques de cuivre ou par ajout de mercure directement dans les broyeurs, centrifugeuses ou concentrateurs gravitaires. L'amalgamation du minerai brut entraîne la "farinisation" du mercure, ce qui réduit les possibilités de récupération du mercure et donc cause la perte de grandes

quantités de mercure dans les rejets de lavage. L'amalgamation doit être utilisée **UNIQUEMENT** sur les concentrés produits par gravité.

#### 4. CHAUFFAGE DE L'AMALGAME

Le chauffage de l'amalgame pour récupérer l'or ne devrait jamais être réalisé sans l'utilisation d'une cornue. Les cornues (comme les cornues à bol, à tuyaux ou les hottes aspirantes) confinent et condensent les vapeurs de mercure et devraient être utilisées pour recycler le mercure. Le chauffage de l'amalgame ne doit pas être réalisé dans les zones résidentielles. Cela doit être fait à une certaine distance (AU MOINS 500m) des résidences. Les enfants et femmes enceintes ne devraient jamais être présents durant les activités de chauffage de l'amalgame.

#### 5. AUCUNE INTERACTION MERCURE-CYANURE

Le mercure ne devrait jamais être utilisé en combinaison avec le cyanure. La cyanuration des rejets de lavage riches en mercure ne devrait pas être réalisée puisque cette pratique augmente la méthylation du mercure.

#### 6. FÛTS D'AMALGAMATION

L'amalgamation du minerai concentré NE doit PAS être réalisée manuellement. Cette technique doit être pratiquée à l'intérieur de fûts rotatifs en plastique ou en acier qui contiennent des boules de caoutchouc ou une chaîne qui servent à augmenter l'homogénéisation du mélange concentré-mercure. La durée du procédé devrait être aussi brève que possible. Le procédé devrait être contrôlé et si nécessaire arrêté si aucune particule d'or libéré n'est visible. La quantité de mercure ajouté dans le baril devrait être graduée jusqu'à la capture de tout l'or libre disponible. Il est important de ne pas mettre d'autres agents oxydants (cyanure, permanganate de potassium, etc.) dans le fût; seule une pincée de détergent est nécessaire pour nettoyer la surface des particules d'or. Il faut aussi promouvoir l'appareil qui sert à la séparation de l'amalgame, tel qu'un élutriateur, pour séparer l'amalgame des minéraux lourds après l'amalgamation. Un tapis de sluice placé après l'élutriateur assurera la capture du mercure fin.

#### 7. SITES D'AMALGAMATION CENTRALISÉS

L'amalgamation et l'utilisation des cornues ne devraient être réalisées que dans des endroits spécifiques (étang d'amalgamation et zone isolée d'utilisation des cornues) situés à une distance d'au moins 500m des habitations les plus proches. Le titulaire du permis d'exploitation, ou le gérant de mine, devrait désigner une section de la mine comme site autorisé pour l'amalgamation, et cela pour toutes exploitations minières artisanales. Les activités d'amalgamation ne devraient être réalisées que dans ce site désigné. Le titulaire du permis d'exploitation devrait aussi s'assurer que des étangs de lavage soient contruits sur le site minier et qu'aucune des activités de lavage ou de concentration du minerai ne soient réalisées près de cours d'eau ou sources d'eau.

#### 8. PROTECTION DES COURS D'EAU

L'amalgamation ou la séparation de l'amalgame ou le chauffage de l'amalgame (avec ou sans cornue) ne doivent pas être réalisés dans un plan d'eau naturel, ou à moins de 100m d'un plan d'eau naturel, incluant rivières, ruisseaux, lacs et autres étendues d'eau.

Les rejets de lavage ne doivent pas être déversés dans un cours d'eau ni dans un endroit qui pourrait

être inondé.

#### 9. PROTECTION DES ZONES RÉSIDENTIELLES

L'utilisation du mercure aux fins d'amalgamation ou à toutes autres fins ne doit jamais être réalisé à moins de 100m d'une zone résidentielle, incluant villages, communes, villes, ou tout autre type d'habitation.

#### 10. ELIMINATION DU MERCURE ET DES REJETS DE LAVAGE CONTAMINÉS

L'élimination des rejets de lavage contaminés par le mercure devrait être réalisée de façon sécurisée et appropriée. Les rejets de lavage ne doivent pas être déversés dans un cours d'eau ni dans un endroit qui pourrait être inondé. Pour éliminer les rejets de lavage contaminés, il faut les placer dans une fosse profonde de plusieurs mètres dont l'intérieur est revêtu d'argile ou de latérite et qui est située à au moins 100 mètres d'un plan d'eau. La fosse, lorsque pleine, sera ensuite recouverte d'un mètre d'argile ou de latérite, puis compactée, recouverte de sol et revégétalisée.

#### 11. EXTRAIRE L'OR RESTANT DES REJETS DE LAVAGE CONTAMINÉS PAR LE MERCURE

Les rejets de lavage ne doivent pas être recyclés et remis dans le circuit de concentration puisque cela contaminerait les rejets de lavage primaires. Si l'on désire essayer de récupérer l'or restant dans les rejets de lavage contaminés, par exemple en utilisant la lixiviation par cyanure ou thiourea, il faut d'abord se débarrasser du mercure résiduel (en utilisant une technique de concentration gravitaire ou autre technique appropriée). Les effluents et rejets de lavage de ce nouveau procédé doivent tout de même être traités comme étant contaminés et être enterrés.

#### 12. CONDENSEURS POUR LES MARCHANDS D'OR

Les marchands qui achètent de l'or obtenu par cornues, ou les marchands qui utilisent les cornues dans le cadre de leurs opérations, doivent avoir une hotte aspirante afin de capturer, condenser et recycler les vapeurs de mercure. Le modèle de hotte devrait permettre de capturer plus de 90% du mercure.

#### 13. ENTREPOSAGE DU MERCURE

Le mercure métallique, lorsqu'il n'est pas en train d'être utilisé, devrait être entreposé de manière sécurisée en tout temps. Cette entreposage doit être: (a) dans un site sécurisé et inaccessible aux enfants; (b) le mercure doit être recouvert d'une mince couche d'eau (ex. 1 cm) et dans un récipient incassable fermé hermétiquement. Ces mesures permettent d'éviter l'évaporation du mercure. Le mercure ne doit PAS être entreposé dans une résidence.

#### 14. PROTECTION DES FEMMES ENCEINTES ET DES ENFANTS

On doit s'assurer qu'aucun enfant de moins de 16 ans et qu'aucune femme enceinte ne soit présent lors de l'amalgamation au mercure, du chauffage de l'amalgame (avec ou sans cornue) ou de la fusion de l'or.

#### 15. MÉTHODES SANS MERCURE

Ces directives décrivent les normes minimales requises pour permettre une éventuelle élimination du mercure dans le secteur de l'EMA. Si possible, les mineurs devraient être encouragés à adopter des techniques appropriées de traitement du minerai sans mercure. Pour de petites quantités de concentré, la méthode soufflant-tapant devrait être encouragée.

## Remerciements et permissions

Les principaux auteurs de ce guide sont Kevin Telmer et Daniel Stapper du Artisanal Gold Council (AGC). La traduction de la version anglaise originale a été réalisée par Myrienne P. Richard (AGC). Toutes photographies et images présentes dans le document, à l'exception de celles spécifiquement indiquées, sont la propriété des auteurs et ne peuvent être reproduites sans permission préalable.

AGC veut remercier les personnes suivantes pour leur assistance, commentaires, traduction et participation dans l'élaboration du matériel:

Le Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM)

Le Fonds Français pour l'Environnement Mondial (FFEM)

Brenda Koekkoek, Programme des Nations Unies pour l' Environnement (PNUE)

Usman Tariq, Programme des Nations Unies pour l' Environnement (PNUE)

Juan Manuel Barbeito, Programme des Nations Unies pour l' Environnement (PNUE)

Ludovic Bernadat, Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUDI)

Susan Keane, National Research Defence Council (NRDC)

Marcello Veiga, Université de la Colombie Britannique

Eva Marion, Alliance for Responsible Mining (ARM)

Yves Bertran-Alvarez, Alliance for Responsible Mining (ARM)

Patience Singo, Sustainable Artisanal Mining Project, SDC

Rickford Viera, Goldmining Pollution Abatement Project Coordinator, WWF

Peter Appel, Geological Survey du Danemark

Sumali Agrawal, Yayasan Tambuhak Sinta

Budi Susulorini, Blacksmith Institute

Marianne Bailey, US Environmental Protection Agency

Mihir Deb, and Sulemana Al-Hassan, IUGS-GEM Working Group on gold and mercury

Zero Mercury Working Group (ZMWG)

International POPs Elimination Network (IPEN)

Human Rights Watch (HRW)

Global Mercury Partnership (PNUE)

Communities and Small Scale Mining (CASM)

IUGS et sa Commission on Geoscience pour Environmental Management pour son support et assistance dans l'élaboration de divers présentations internationales sur l'or et le mercure

Université de Victoria, School of Earth and Ocean Sciences

Enfin, un remerciement particulier aux nombreux orpailleurs et groupes d'orpailleurs avec lesquels nous avons travaillé et collaboré à travers le monde, et que l'on peut voir dans plusieurs des photographies utilisées dans ce guide.

Des mineurs indonésiens  
au nord du Sulawesi sont  
formés par leurs collègues



**[www.unep.org/french](http://www.unep.org/french)**

Programme des Nations Unies pour  
l'Environnement

C.P. 30552 Nairobi, Kenya

Tel.: ++254-(0)20-62 1234

Fax: ++254-(0)20-62 3927

E-mail: [unepub@unep.org](mailto:unepub@unep.org)



Aider les orpailleurs à tirer le meilleur profit de cette opportunité de développement, tout en minimisant les conséquences sociales et environnementales, est tout à fait possible. Ce qui est nécessaire, c'est de la compréhension, de l'innovation et de la volonté.

Pour plus d'information, contacter:  
PNUE DTIE Chemicals Branch  
11-13 Chemin des Anémones  
CH- 1219 Châtelaine, Genève, Suisse  
Tel.: +41 (0) 22 917 12 34  
Fax.: +41 (0) 22 797 34 60  
Courriel: [metals.chemicals@unep.org](mailto:metals.chemicals@unep.org)  
Web: <http://www.unep.org/french>



**1972-2012:**  
Serving People  
and the Planet



FEM FONDS POUR L'ENVIRONNEMENT MONDIAL



DTI/1557/GE  
ISBN 978-92-807-3282-5