

GUIDE PRATIQUE POUR L'EXPLOITATION MINIÈRE ARTISANALE
ET À PETITE ÉCHELLE

INSTALLATION ET EXPLOITATION D'USINES GRAVIMÉTRIQUES POUR LA RÉCUPÉRATION DE L'OR SANS MERCURE



Guide pratique pour l'exploitation minière artisanale et à petite échelle : installation et exploitation d'usines gravimétriques pour la récupération de l'or sans mercure

Programme des Nations unies pour le développement/Ministère de l'Environnement

Le présent guide est l'œuvre d'un travail collectif.

Supervision générale :

Projet planetGOLD Pérou (MINAM-PNUD)

Élaboration du contenu :

Jonatan Mario Soto Villegas - PNUD/planetGOLD Pérou

Rosita Juval Valdez Vera - PNUD/planetGOLD Pérou

Fidel Cabana Charca - PNUD/planetGOLD Pérou

Midwar Roca Jallo - PNUD/planetGOLD Pérou

Révision technique :

Franco Arista Rivera - PNUD/planetGOLD Pérou

Équipe de révision MINAM :

Francisco García Aragón/DGCA

Dallas Noelia Gonzales Malca/DGCA-DCCSQ

Vicente Gustavo Espinoza Villanueva/DGCA-DCCSQ

Mise au point éditoriale :

Coordination éditoriale : Janeth Lazarte - PNUD

Correction, mise en page et illustration : Lluvia Editores

Publié par :

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

Av. Jorge Chávez 275. Miraflores

Lima - Pérou

Publication électronique : 1ère édition - Novembre 2024

Les informations contenues dans cette publication peuvent être reproduites en partie ou en totalité sur n'importe quel support, sous réserve de mentionner la source.

Ce document a été préparé et publié dans le cadre de l'initiative mondiale planetGOLD, financée par le Fonds pour l'environnement mondial (FEM) et dirigée par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). Au Pérou, le projet planetGOLD Pérou est mis en œuvre par le ministère de l'Environnement (MINAM), en partenariat avec le ministère de l'Énergie et des Mines (MINEM), et avec l'assistance technique du Programme des Nations unies pour le développement (PNUD).

Pour plus d'informations, consultez le site www.planetgold.org/es/peru

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

GLOSSAIRE

1

PRINCIPES TECHNIQUES FONDAMENTAUX DE LA RÉCUPÉRATION DE L'OR PAR GRAVIMÉTRIE.....6

2

DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE MISE EN ŒUVRE POUR LE PROJET.....8

- 2.1. Organigrammes de la technologie mise en œuvre
- 2.2. Description technique de l'équipement nécessaire au traitement
- 2.3. Recommandations techniques concernant l'installation de l'équipement métallurgique
- 2.4. Vues et dessins de référence de l'équipement métallurgique du projet

3

EXIGENCES TECHNIQUES DU MINÉRAI POUR LE TRAITEMENT GRAVIMÉTRIQUE.....23

- 3.1. Préparation du minerai d'or
- 3.2. Analyse granulométrique par tamisage du minerai d'or
- 3.3. Alimentation en minerai d'or prétraité

4

MISE EN SERVICE ET FONCTIONNEMENT DE L'ÉQUIPEMENT DE L'USINE GRAVIMÉTRIQUE.....27

- 4.1. Réservoir d'agitation
- 4.2. Table gravimétrique
- 4.3. Réservoir de recirculation
- 4.4. Brûleur
- 4.5. Four de fusion

5

RECOMMANDATIONS FINALES.....36

- 5.1. Recommandations générales
- 5.2. Recommandations de sécurité

INTRODUCTION



Le travail de l'exploitation minière artisanale et à petite échelle de l'or (EMAPE) est une activité cruciale pour des millions de personnes à travers le monde, car elle fournit des revenus et offre des opportunités de développement pour les communautés rurales. Toutefois, cette activité se révèle aussi être la plus grande source d'émissions de mercure sur la planète, contribuant à 37,7 % des émissions de mercure dans l'air provenant des activités humaines (Conseil mondial de l'or, 2021). Actuellement, on estime que 20 % de l'or mondial provient de l'EMAPE (IGF, 2017), ce qui souligne l'importance de cette activité, mais pose également d'importants défis sanitaires et environnementaux.

L'utilisation du mercure dans la récupération de l'or dans le cadre de l'EMAPE présente de graves risques de toxicité, tant pour les ouvriers que pour les communautés voisines et les écosystèmes. Ces risques ont fait naître le besoin de passer à des technologies de traitement plus propres et plus sûres. Dans ce contexte, entre 2020 et 2024, l'équipe de projet planetGOLD Pérou a travaillé avec 16 organisations minières artisanales et à petite échelle dans les régions d'Arequipa, de Puno et de Piura et les a aidées à adopter des technologies sans mercure grâce à l'installation d'usines gravimétriques. Grâce à cet effort conjoint, les émissions de mercure ont été réduites de plus de 1,5 tonne, soit quatre fois plus que l'objectif initial de l'usine pilote, ce qui marque un progrès significatif vers une exploitation plus responsable de l'or.

Cela a été rendu possible grâce à l'engagement de l'équipe technique du projet et des petits exploitants miniers, qui ont cofinancé la remise en état des équipements et encouragé la formation de leur personnel à l'utilisation des technologies gravimétriques. Cette expérience enrichissante a conduit à la rédaction de ce guide pratique, un document spécialement conçu pour soutenir les mineurs artisanaux et à petite échelle dans l'adoption et l'utilisation de technologies propres dans leurs processus de valorisation.

Ce guide donne un aperçu complet des principes fondamentaux du traitement gravimétrique, depuis l'installation et le fonctionnement de l'usine jusqu'à la gestion opérationnelle et à la sécurité lors de l'utilisation de l'équipement. De même, il aborde les propriétés physiques de l'or qui sous-tendent la méthode gravimétrique, décrit la technologie utilisée à chaque étape du circuit de récupération et détaille les conditions idéales du minerai avant l'étape d'agitation. Grâce à ces informations, l'objectif est de responsabiliser les mineurs artisanaux et à petite échelle, en leur facilitant l'accès à une exploitation minière plus propre, plus rentable et plus respectueuse de l'environnement.

Dans ce document, les mineurs trouveront des conseils pratiques et des recommandations clés pour faire de l'exploitation de l'or sans mercure une réalité durable et sûre dans leurs activités quotidiennes.



GLOSSAIRE

Agitation

Action ou état d'agiter ou de secouer mécaniquement (métallurgie), parfois en incorporant de l'air comprimé.

Transformation

Ensemble de processus physiques, chimiques et/ou physico-chimiques mis en œuvre pour extraire ou concentrer les parties précieuses d'un agrégat de minerai et/ou pour purifier, fondre ou affiner les métaux ; comprend la préparation mécanique, la métallurgie et le raffinage.

Goulotte

Un conduit ou un bassin pour transporter de la pulpe, de l'eau ou de la poudre de minerai finement broyée.

Circuit fermé

Action sans fin dans le processus de broyage qui permet à une partie sélectionnée du produit d'une machine de retourner à la tête de la machine pour être finie selon les spécifications ; parmi les exemples couramment utilisés dans les usines de minéralisation, on peut citer les broyeurs fonctionnant en circuit fermé avec des classificateurs.

Concentré

Minerai à forte teneur, obtenu par divers processus physiques ou chimiques dans des usines spécialement conçues à cet effet.

Fusion

Le processus de séparation des métaux contenus dans les concentrés minéraux en ayant recours à la chaleur.

Teneur

La teneur d'un élément précieux dans une unité de poids de minerai. La teneur en minerai correspond au poids équivalent moyen de la substance du minerai ou du composé chimique, rapporté à une unité de poids ou de mesure. Il s'agit d'une mesure quantitative de ce qui est utilisable dans le minerai au moment de l'extraction, c.-à-d. d'un pourcentage de ce qui va réellement générer un bénéfice ou un profit suite à son extraction.

Broyage

Étape de réduction de la taille après le concassage, au moyen d'équipements appelés broyeurs (structures rotatives continues).

Pulpe

Le minerai qui a été concassé et broyé est préparé avec des réactifs prêts à être traités dans les cellules de flottation.

PRINCIPES TECHNIQUES FONDAMENTAUX DE LA RÉCUPÉRATION DE L'OR PAR GRAVIMÉTRIE

1.

La récupération de l'or par des procédés gravimétriques repose sur des principes qui exploitent les différences de densité et de propriétés physiques de l'or par rapport aux autres minéraux. Ci-après sont présentés les principaux éléments de base :

a. Différence de densité :

le principe¹ La principale caractéristique de la récupération gravimétrique de l'or est la densité élevée de l'or ($19,3 \text{ g/cm}^3$) par rapport aux minerais. Cette différence permet de séparer l'or dans un milieu aqueux sous l'action de la gravité.

b. Principe de sédimentation et vitesse de chute :

La loi de Stokes nous permet de comprendre comment et à quelle vitesse les particules tombent dans l'eau, en fonction de leur poids et de leur taille, ainsi que de l'épaisseur de l'eau. Ce principe² est fondamental pour pouvoir choisir et utiliser des équipements tels que les tables de concentration et les spirales, étant donné que ces équipements séparent l'or de la gangue (c.-à-d., un matériau sans valeur) en poussant les particules les plus lourdes, telles que l'or, vers le fond.

c. Action de la gravité et force centrifuges :

dans les procédés gravimétriques, la force de gravité est utilisée pour séparer l'or des matériaux sans valeur. Cette force fait que les particules d'or, qui sont plus lourdes, se déposent, tandis que les particules plus légères coulent au fond ou sont emportées par le courant.

Dans les équipements³ plus sophistiqués, tels que les concentrateurs centrifuges, on fait également appel à la force centrifuge, qui est comme une « gravité supplémentaire » générée par la rotation rapide de l'équipement. Cette force supplémentaire est très utile pour récupérer les particules d'or très fines, qui dans d'autres équipements sont parfois perdues. Cette force centrifuge permet au concentrateur de mieux capturer l'or fin et d'éviter qu'il ne termine avec les déchets.

1 Wills, B. A., & Finch, J. (2016). Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. Butterworth-Heinemann.

2 Dávila, M. (2007). Procesos de concentración gravimétrica en minería aurífera aluvial en Madre de Dios. Universidad Nacional de Ingeniería, Pérou.

3 Bonilla, J. (2010). Evaluación de concentradores centrífugos en la recuperación de oro fino en minería artesanal. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Pérou.

d. Efficacité et paramètres de fonctionnement :

La récupération⁴ gravimétrique de l'or dépend des paramètres de fonctionnement tels que le débit d'eau, l'inclinaison et la vitesse de vibration de la table de concentration ou de la goulotte, qui doivent être ajustés en fonction du type de minerai. Ces paramètres garantissent une bonne séparation, permettant d'optimiser la capture des particules d'or tout en minimisant la perte d'impuretés.

e. Limite des particules fines :

La récupération⁵ de l'or en ayant recours à des méthodes gravimétriques devient **moins efficace lorsque les particules d'or sont très petites** (moins de 0,1 mm). Cela est dû au fait que, dans des particules aussi fines, les forces de l'eau (viscosité et résistance) l'emportent sur la gravité, de sorte que l'or ne se dépose pas facilement et qu'il est emporté avec les impuretés.

4 Villachica, H. (2001). Procesos de concentración y recuperación de minerales auríferos en minería artesanal y de pequeña escala. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú.

5 Bravo, L. (2018). Uso de concentradores gravimétricos en la recuperación de oro fino en minería aluvial en la región de Puno. Universidad Nacional del Altiplano, Pérou.

2.

DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE MISE EN ŒUVRE PAR LE PROJET

Le projet planetGOLD Pérou a travaillé dans 2 environnements miniers : l'exploitation filonienne ou souterraine et l'exploitation minière alluviale de type glaciaire. Afin de commencer le traitement physique, il est important de séparer le minerai d'or des autres métaux.

Le schéma montre que dans le cas d'un minerai d'or provenant d'une exploitation souterraine, le minerai doit être concassé et broyé pour en extraire l'or. En revanche, le minerai provenant de l'exploitation alluviale glaciaire doit être lavé et préconcentré. Après la préconcentration, le minerai passe par des procédés d'agitation, de concentration par table de gravité, de brûlage et de fusion pour obtenir l'or. Chaque étape répond à des spécifications techniques qui dépendent du type de minerai et de sa granulométrie, qui seront détaillées plus loin.

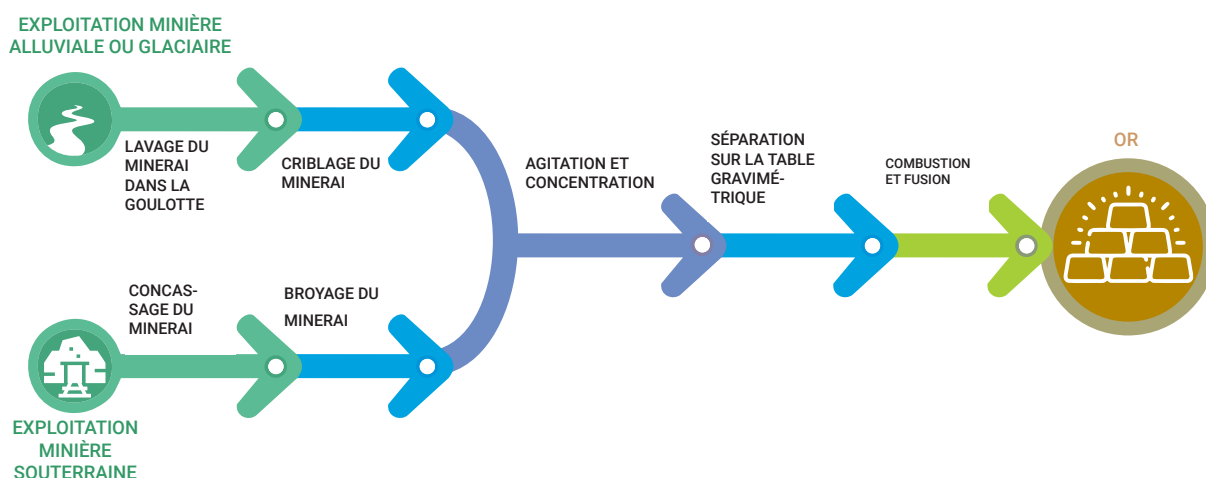


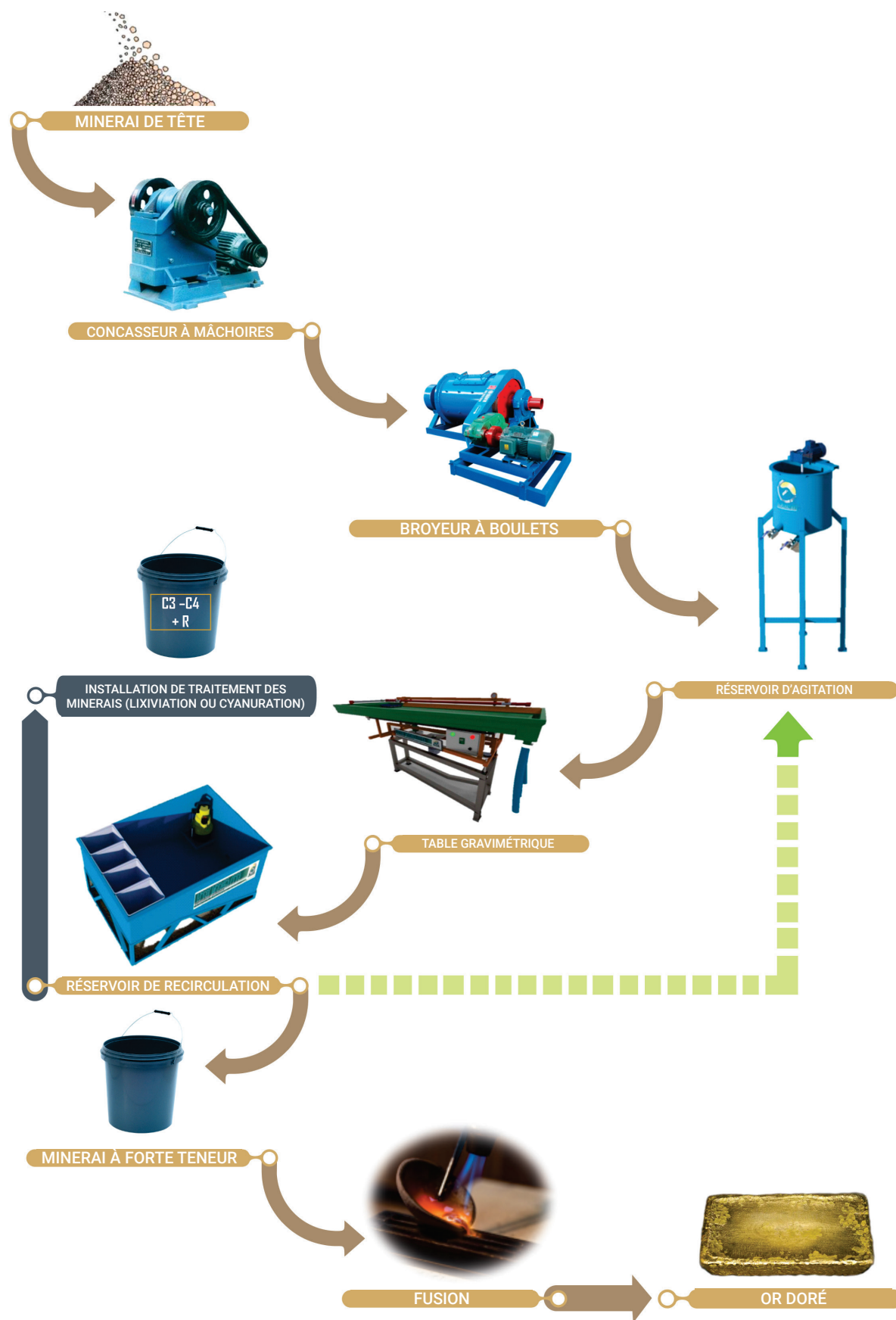
Diagramme décrivant le flux de minerai par type d'exploitation minière

L'usine de traitement gravimétrique proposée par le projet est composée des équipements suivants : un concasseur, un broyeur, un réservoir d'agitation, une table gravimétrique, un réservoir de recirculation, un brûleur et un four de fusion.

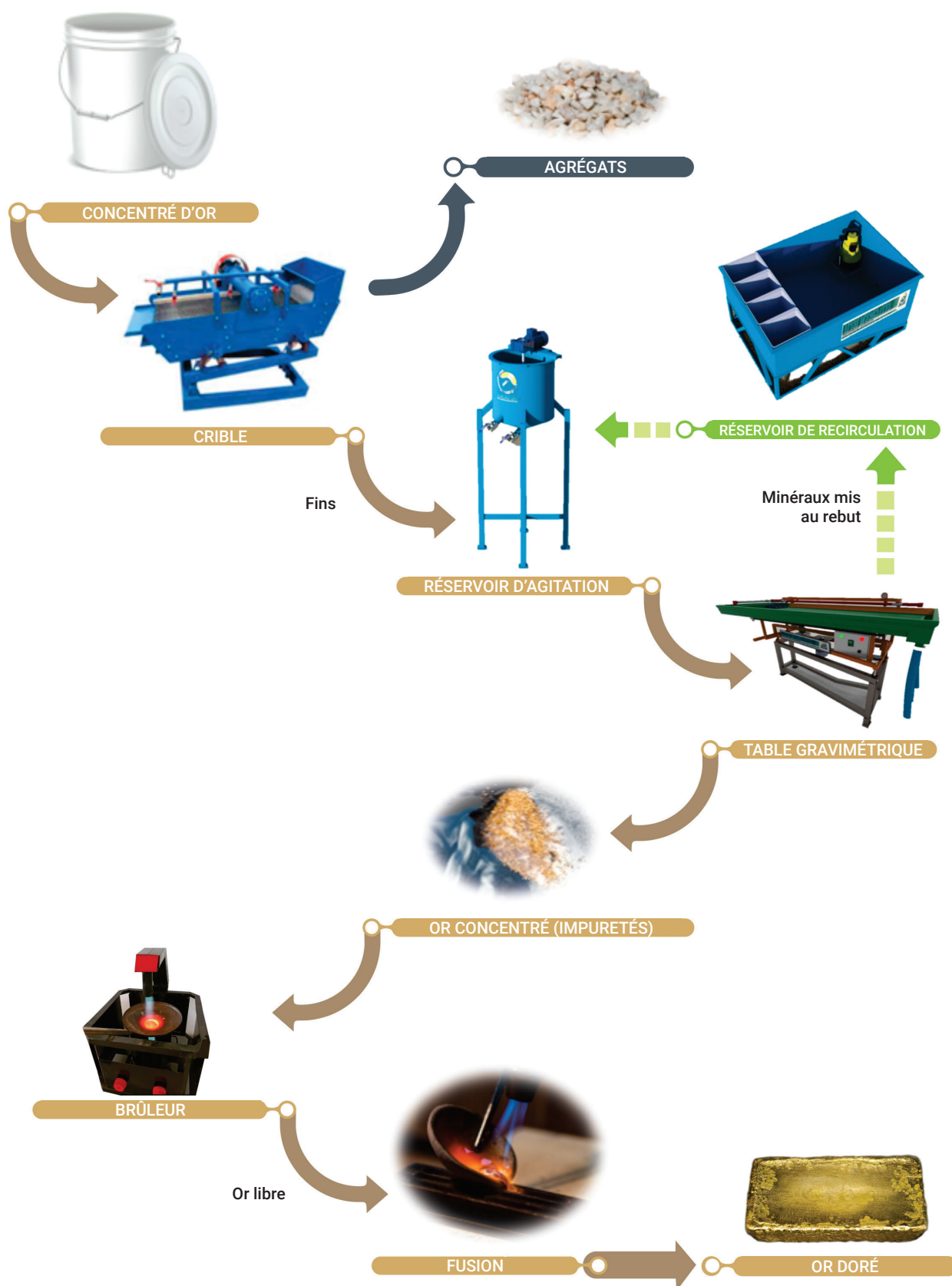
2.1. Organigrammes de la technologie mise en œuvre

Les organigrammes suivants montrent le traitement de l'or par extraction filonienne et par extraction alluviale.

Organigramme 1 : récupération de l'or provenant de l'exploitation minière filonienne



Organigramme 2 : récupération de l'or provenant de l'exploitation minière alluviales



2.2. Description technique de l'équipement nécessaire au traitement

2.2.1 Crible vibrant

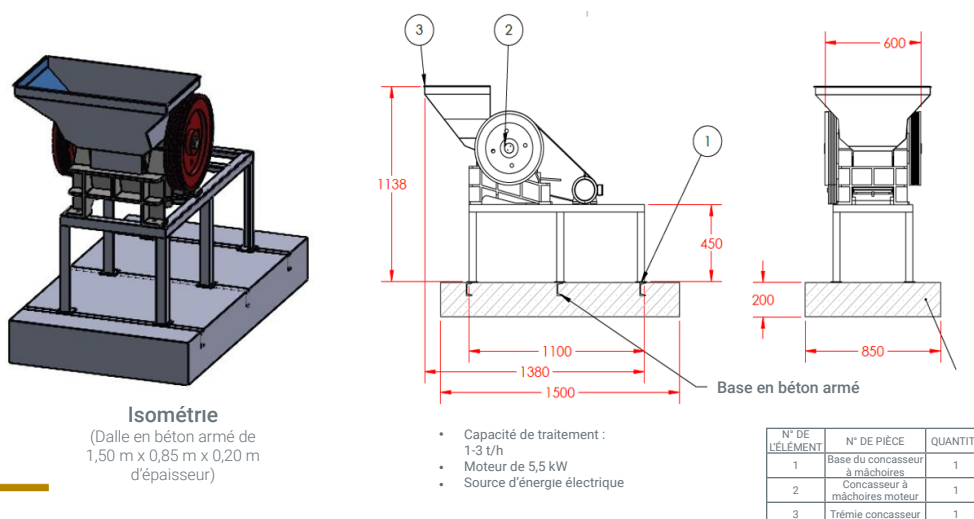
Les cribles vibrants sont des équipements utilisés pour la classification des produits solides en fonction de la granulométrie, ainsi que pour la séparation des solides et des liquides. Ils sont constitués d'un ensemble de plaques qui supportent des tamis de différentes tailles.

Le crible vibrant est un équipement utilisé avant le processus gravimétrique, et est nécessaire pour l'or alluvial.

2.2.2 Concasseur à mâchoires

Le concasseur à mâchoires, également connu sous le nom de broyeur à mâchoires, est un équipement permettant de réduire la taille des minerais qui est utilisé dans l'exploitation minière et le traitement des minerais. Sa principale fonction est de réduire de gros blocs de matériaux en des blocs de taille plus facile à manier en vue de leur traitement ultérieur.

Dans le cas des usines pilotes de planetGOLD Pérou, des concasseurs de 6 pouces x 8 pouces ont été utilisés.



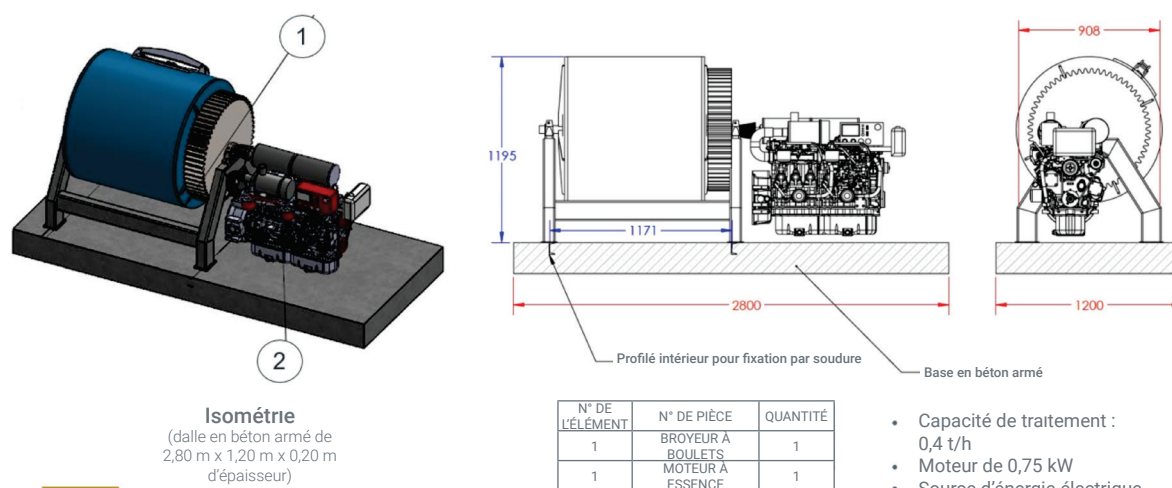
Description de l'équipement :

- Hauteur totale : 1,138 m (de la base en béton à la trémie d'alimentation).
- Largeur de la trémie d'alimentation : 0,6 m.
- Base en béton armé : la base de l'installation est faite de béton armé et mesure 1,50 m de long pour 0,85 m de large et 0,20 m d'épaisseur, ce qui assure à l'équipement la stabilité et le soutien dont il a besoin pendant le processus de concassage.
- Capacité de traitement : 1 à 3 tonnes métriques par heure (t/h), ce qui indique la quantité de matériaux qu'il peut traiter dans ce laps de temps, en fonction du type et de la taille des matériaux.
- Puissance : 5,5 kW pour fournir la force nécessaire au mouvement des mâchoires et au processus de concassage.
- Alimentation électrique : l'équipement est alimenté électriquement, ce qui convient aux usines de traitement fixes.

2.2.3 Broyeur à boulets

Le broyeur à boulets fonctionne en déplaçant une charge de boulets (en acier ou autre matériau résistant) à l'intérieur d'un tambour cylindrique qui tourne sur son axe horizontal. Le matériau à broyer est introduit dans le tambour et, lorsque celui-ci tourne, les boulets viennent frapper et broyer le matériau. L'action combinée de l'impact et de la friction permet de réduire la taille des particules.

Dans le cas des usines pilotes du projet planetGOLD Pérou, des broyeurs à boulets de 300 mm x 300 mm ont été utilisés.

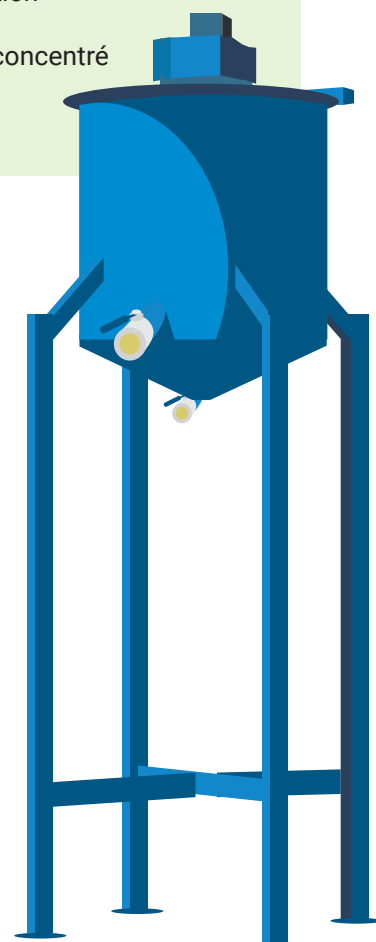
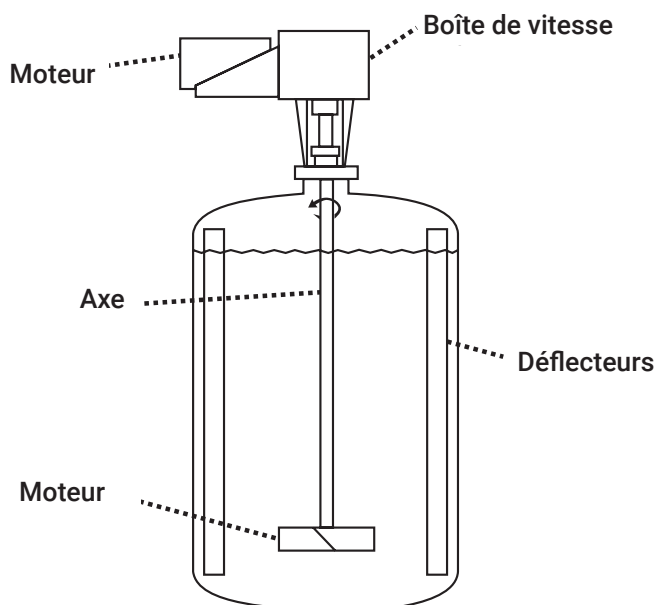


Description de l'équipement :

- Dimensions de la base en béton armé : La base de l'installation est en béton armé et mesure 2,80 m de long pour 1,20 m de large et 0,20 m d'épaisseur. Cette base assure à l'équipement la stabilité dont il a besoin pendant son fonctionnement.
- Hauteur totale de l'équipement : 1,195 m (de la base en béton au sommet du tambour du broyeur).
- Longueur totale de l'équipement : 2,8 m (de bout en bout, broyeur et moteur y compris).
- Largeur de l'équipement : 1,2 m.
- Diamètre du tambour : environ 0,908 m, ce qui permet une capacité suffisante pour les boulets de broyage et le matériau.
- Capacité de traitement : 0,4 tonnes métriques par heure (t/h), ce qui convient aux exploitations à petite échelle.
- Moteur : moteur à essence de 0,75 kW, idéal pour les conditions de terrain et les endroits sans accès à une source d'énergie électrique.
- Alimentation électrique : moteur à combustion interne (moteur à essence), qui permet de se passer de l'alimentation électrique.

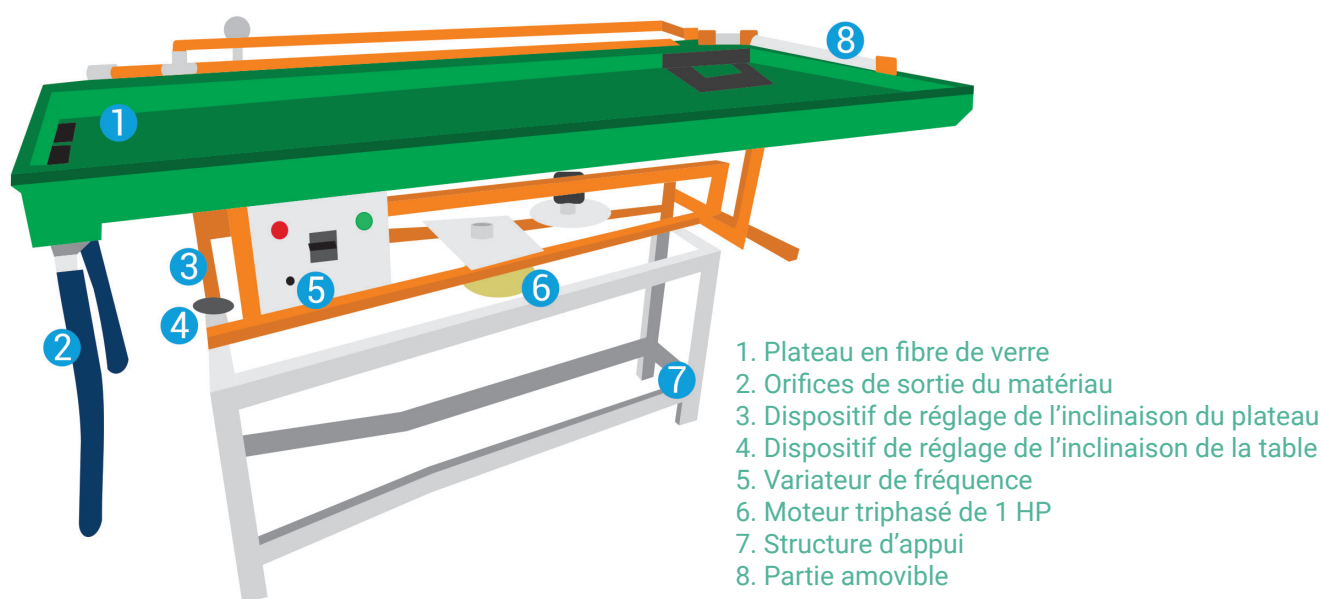
2.2.4. Réservoir d'agitation

Description et capacité	<p>Le réservoir sert à homogénéiser la pulpe du minerai qui entrera ensuite dans la table gravimétrique. Il agit selon un mouvement similaire à un vortex, généré par un arbre fixé aux pales qui permettent le déplacement de la pulpe. Afin de pouvoir réguler l'intensité de la force du mouvement, il dispose d'un régulateur de fréquence ainsi que d'une boîte de réduction, qui ajoute de la force au travail à effectuer.</p> <p>La capacité de déschlammage et de concentration du réservoir d'agitation est estimée à 50 kg/h, en tenant compte du matériau fin provenant du crible vibrant et en travaillant comme en continu avec la table gravimétrique.</p>
Dimensions	<ul style="list-style-type: none"> • Largeur totale : 0,70 m • Longueur totale : 0,70 m • Hauteur totale : 2,20 m • Hauteur du réservoir : 0,80 m • Diamètre du réservoir : 0,70 m • Volume du réservoir : à Puno 0,25 m³, à Piura 0,9 m³ • Les dimensions varient en fonction de la capacité de l'usine.
Composants	<ul style="list-style-type: none"> • Entrée des matériaux fins • Moteur triphasé de 1 HP • Arbre et pales d'agitation • Variateur de fréquence • Disjoncteur thermomagnétique • Panneau de contrôle • Vanne périphérique ou latérale pour l'évacuation des produits du déschlammage • Vanne axiale inférieure pour l'évacuation du concentré • Structure d'appui • Conduites d'eau • Vannes de contrôle de l'eau



2.2.5. Table gravimétrique

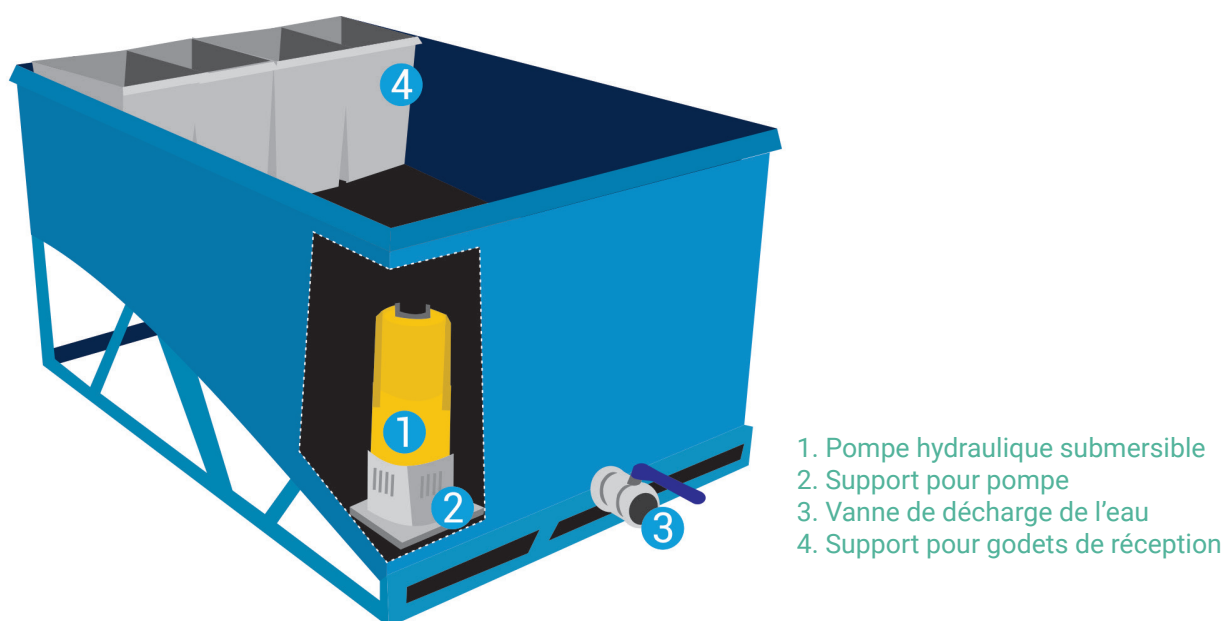
Description et capacité	<p>La table gravimétrique est le deuxième et le plus important équipement de l'usine pour la concentration et l'extraction de l'or.</p> <p>Elle est utilisée pour séparer les minerais de différentes densités en faisant appel à la gravité et à la force centrifuge. L'efficacité de la table dépend de l'homogénéité du matériau d'alimentation et de la densité de la pulpe, car toute fluctuation peut affecter les conditions de transport de l'eau hors du cours d'eau⁶.</p> <p>La capacité de concentration de la table gravimétrique, qui fonctionne comme un système continu en combinaison avec le réservoir d'agitation, est estimée à 40 kg/h en moyenne, traitant à la fois le produit de déschlammage et le concentré final obtenu à partir du réservoir d'agitation.</p>
Dimensions	<ul style="list-style-type: none"> • Largeur totale : 0,75 m • Longueur totale : 2,00 m • Hauteur totale : 1,10 m
Composants	<ul style="list-style-type: none"> • Plateau en fibre de verre • Partie amovible • Moteur triphasé de 1 HP • Variateur de fréquence • Disjoncteur thermomagnétique • Panneau de contrôle • Structure d'appui • Dispositif de réglage de l'inclinaison du plateau • Pattes de réglage de l'inclinaison de la table • Conduites d'eau • Vannes de contrôle de l'eau • Pistolet d'arrosage pour l'irrigation • Orifices de sortie du matériau



6 McCABE, Warren L. – SMITH, Julian C. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Reducción de la taille. Pages 890 – 924. [2] Burt, R.O.: Gravity Concentration Technology, Elsevier 1984. [3] Priester, M., Hentschel, T.; Benthin, B.: Pequeña Minería-Técnicas y Procesos. GTZ 1991

2.2.6. Réservoir de recirculation

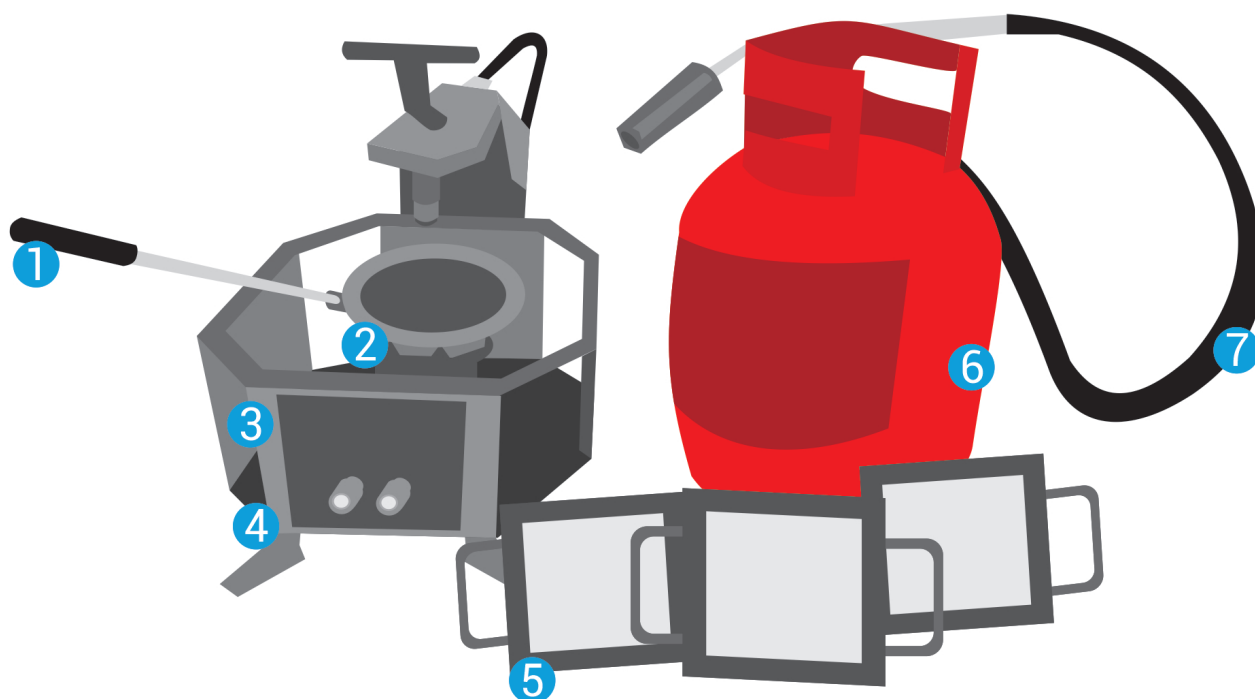
Description et capacité	<p>Le réservoir de recirculation est le dernier composant de l'installation gravimétrique dont la fonction principale est de stocker l'eau nécessaire aux équipements de l'installation et de la distribuer au moyen de la pompe submersible, créant ainsi un circuit fermé qui permet de mieux utiliser l'eau.</p> <p>Par ailleurs, il contient les réservoirs de décharge des orifices de la table gravimétrique⁷.</p> <p>La capacité de stockage d'eau est de 750 litres.</p>
Dimensions	<ul style="list-style-type: none">• Largeur totale : 1,20 m• Longueur totale : 1,60 m• Hauteur totale : 0,75 m
Composants	<ul style="list-style-type: none">• Pompe hydraulique submersible de 1 HP• Disjoncteur thermomagnétique pour la pompe hydraulique• Panneau de contrôle pour la pompe• Support de pompe hydraulique• Support pour les godets de réception (ports de table gravimétriques)• Conduites d'eau• Vannes de décharge de l'eau



⁷ Fiches techniques transmises par le fournisseur EcogreenTech S.A.C.

2.2.7.Brûleur

Description et capacité	Dans le cas de l'or alluvial, il s'agit d'un équipement complémentaire servant à sécher et à brûler l'or obtenu sur la table gravimétrique et qui contient encore des impuretés, ceci afin de séparer l'or des impuretés.
Dimensions	<ul style="list-style-type: none"> • Largeur totale : 0,30 m • Longueur totale : 0,30 m • Hauteur totale : 0,50 m
Composants	<ul style="list-style-type: none"> • Injecteur de feu supérieur • Injecteur de feu inférieur • Vannes de régulation du gaz. • Structure d'appui. • Ballon de gaz • Tuyau haute pression (gaz) • Mêchoir en fonte • Tamis de différentes tailles

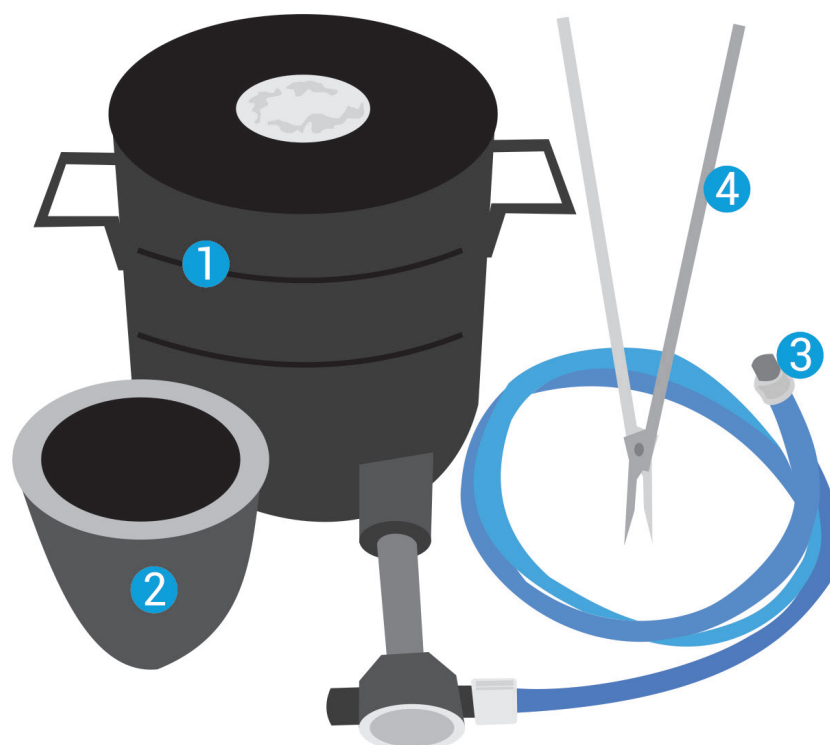


1. Injecteur de feu intérieur
2. Mêchoir en fonte
3. Structure d'appui
4. Vannes de régulation du gaz

5. Tamis de différentes tailles
6. Tuyau haute pression de gaz
7. Ballon de gaz

2.2.8.Four de fusion

Description et capacité	Dans le cas de l'or de type filonien, il s'agit d'un équipement complémentaire servant à fondre les concentrés gravimétriques. Pour son fonctionnement, du gaz naturel ou du propane est requis. Le four à creuset peut contenir jusqu'à 5 kg.
Dimensions	<ul style="list-style-type: none">• Longueur : 1,10 m• Largeur : 0,40 m• Hauteur : 0,85 m
Composants	<ul style="list-style-type: none">• Corps du four• Jeu de brûleur individuel• Tuyau de gaz avec collier de serrage• Brique réfractaire• Régulateur de la pression du gaz• Ruban de téflon et revêtement de protection thermique• Creuset et pince



1. Corps du four
2. Creuset
3. Tuyau de gaz avec collier de serrage
4. Pince

2.3. Description technique de l'équipement nécessaire au traitement

2.3.1. Recommandations techniques concernant l'installation du réservoir d'agitation



Emplacement :

Le réservoir d'agitation est installé sur une plateforme plane en béton d'une hauteur totale de 2,20 mètres.



Structure :

Il convient de prévoir une échelle pour vider le matériau dans le réservoir. La structure est constituée d'un tube d'acier carré de 2 pouces et de 2 mm d'épaisseur et la plateforme est constituée d'une plaque d'acier structurel de 3 mm d'épaisseur.



Installation électrique :

L'installation utilise un câble n° 12, acheminé le long de la connexion. Elle est raccordée à une source d'alimentation monophasée et passe par un disjoncteur thermomagnétique C32 qui assure la protection contre les surcharges et les courts-circuits. La puissance est transmise à un variateur de fréquence de 1 HP qui régule les rotations du réservoir. Le disjoncteur et le variateur sont situés sur un panneau de commande doté de dispositifs de contrôle de l'alimentation, d'un sélecteur et de panneaux à boutons-poussoirs pour la mise en marche et l'arrêt.



Raccordement à l'eau :

Des tuyaux et des raccords de 1 pouce sont utilisés. L'eau du réservoir de recirculation est distribuée au moyen d'une pompe et régulée par un robinet d'arrêt.



Autres installations :

Pour le traitement de produits du déschlammage et le déchargement du concentré d'or, deux vannes à fermeture à vis métalliques et des tuyaux de 2 pouces sont installés pour réguler le flux vers la table gravimétrique.

2.3.2. Recommandations techniques concernant l'installation de la table gravimétrique



Emplacement :

La table gravimétrique est installée sur une plateforme plane en béton, en tenant compte de la hauteur du réservoir d'agitation. Les équipes de planetGOLD mentionnées avaient des tables d'un hauteur de 1,10 m.



Structure :

Aucune structure supplémentaire n'est requise.



Installation électrique :

L'installation utilise un câble n° 12, acheminé le long de la connexion. Elle est raccordée à une source d'alimentation monophasée et passe par un disjoncteur thermomagnétique C32 qui assure la protection et un variateur de fréquence de 1 HP qui régule la vitesse du moteur et permet de passer d'une alimentation monophasée à une alimentation triphasée.



Raccordement à l'eau :

Des tuyaux de $\frac{3}{4}$ de pouce et de 1 pouce sont utilisés. L'eau du réservoir de recirculation est pompée dans un tuyau de 1 pouce, avec un robinet d'arrêt pour réguler la pression. La connexion est divisée en deux parties : un tuyau de 1 pouce pour la partie inférieure et un tuyau de $\frac{3}{4}$ de pouce pour la partie supérieure. Les deux tuyaux peuvent être réglés indépendamment. Les tuyaux comportent des trous de 2 mm de diamètre et sont espacés de 2,5 cm en bas et de 2 cm en haut.



Autres installations :

La table est placée à côté du réservoir d'agitation, à une hauteur de 1,10 m au-dessus de la plateforme en béton.

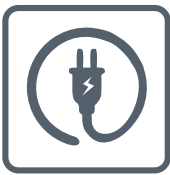
2.3.3. Recommandations techniques concernant l'installation du réservoir de recirculation

**Emplacement :**

Elle est installée sur la plateforme en béton plane, à côté des orifices de décharge de la table gravimétrique, à une hauteur de 0,75 m.

**Structure :**

Aucune structure supplémentaire n'est requise.

**Installation électrique :**

La pompe à eau qui se trouve à l'intérieur du réservoir de recirculation est équipée d'une installation électrique avec un câble n° 12, raccordé à la tuyauterie. L'alimentation provient d'une source monophasée, passe par un disjoncteur thermomagnétique C32 (pour la protection contre les surcharges) et est contrôlée à partir d'un panneau doté de lampes témoins, d'un sélecteur et de panneaux à boutons-poussoirs pour la mise en marche et l'arrêt de l'équipement.

**Raccordement à l'eau :**

Des tuyaux de 1 pouce distribuent l'eau du réservoir de recirculation, laquelle est régulée par un robinet d'arrêt.

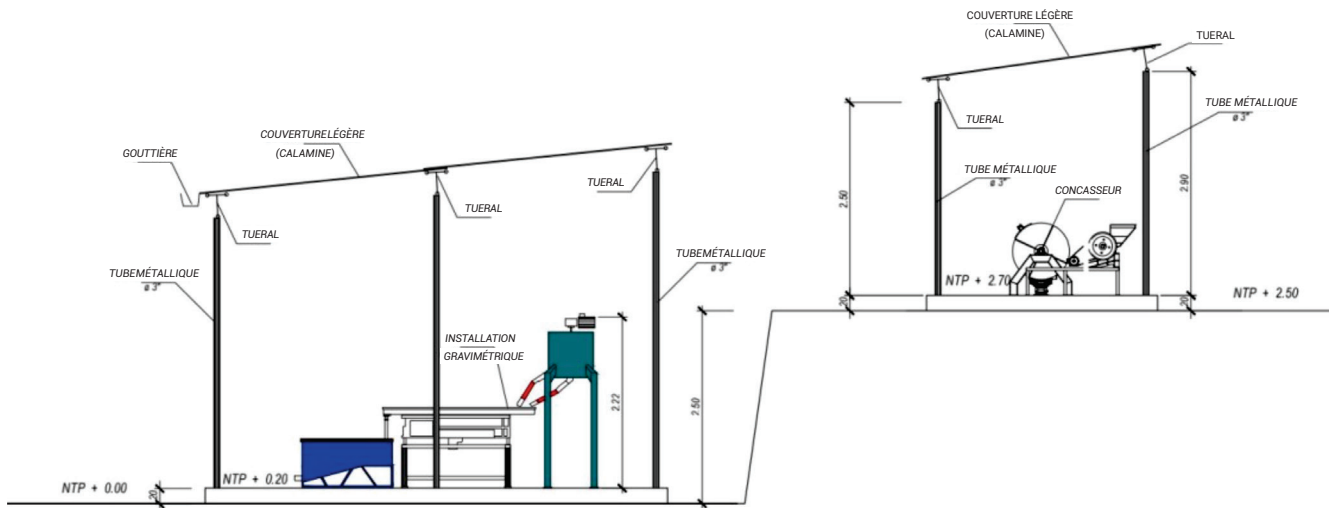
**Autres installations :**

Pour la vidange et le nettoyage du réservoir de recirculation, un robinet d'arrêt métallique de 2 pouces est installé dans l'ouverture latérale inférieure.

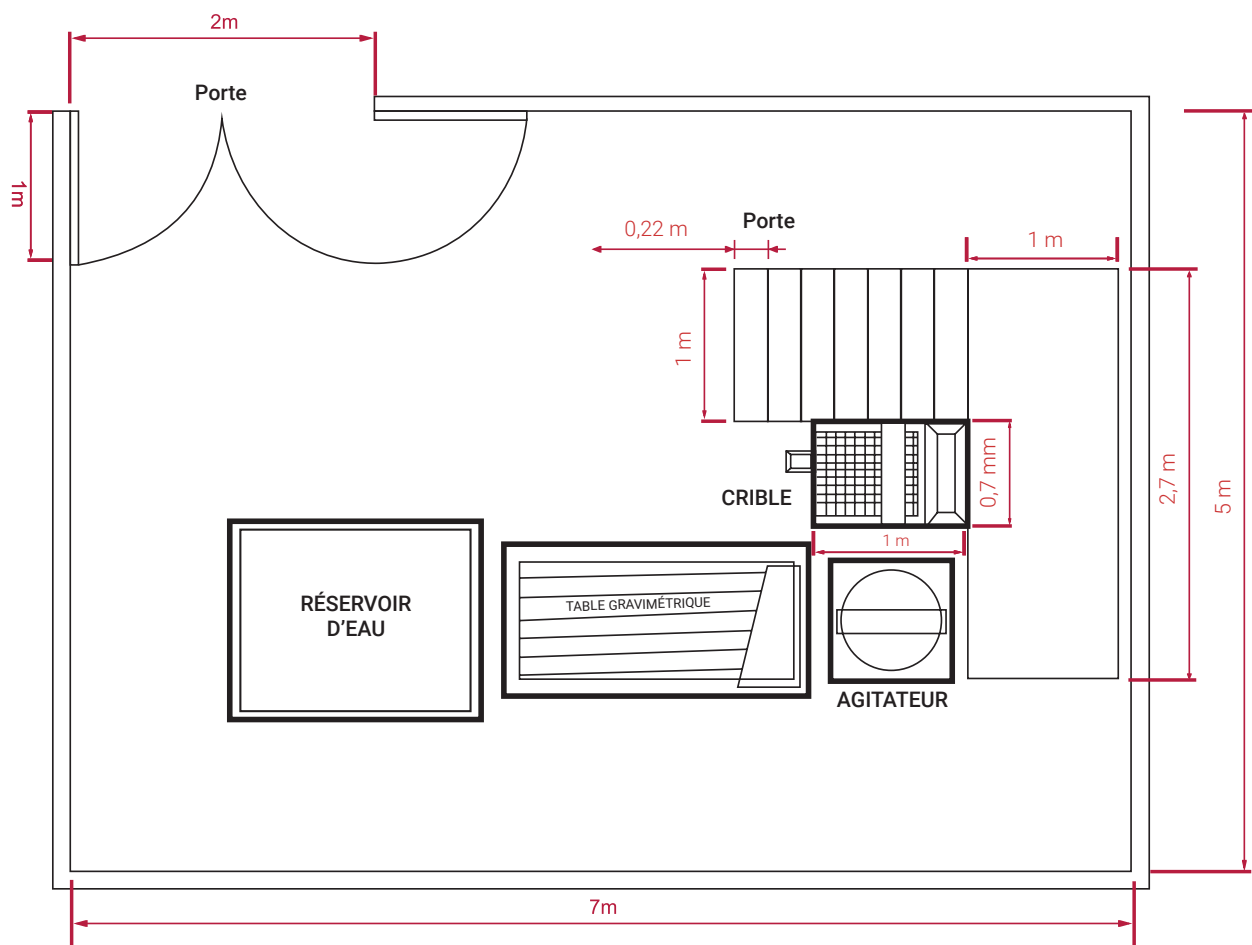
2.4. > Vues et dessins de référence de l'équipement métallurgique du projet



Vue de côté d'une installation gravimétrique pour l'or alluvial.



Vue de côté de l'installation gravimétrique.



Vue d'une installation gravimétrique pour l'or alluvial.

3.

EXIGENCES TECHNIQUES DU MINERAI POUR LE TRAITEMENT GRAVIMÉTRIQUE

Ci-après figurent des recommandations techniques suivantes concernant la préparation et le traitement du minerai d'or provenant de l'exploitation minière alluviale ou filonienne avant son entrée dans le circuit de traitement gravimétrique.

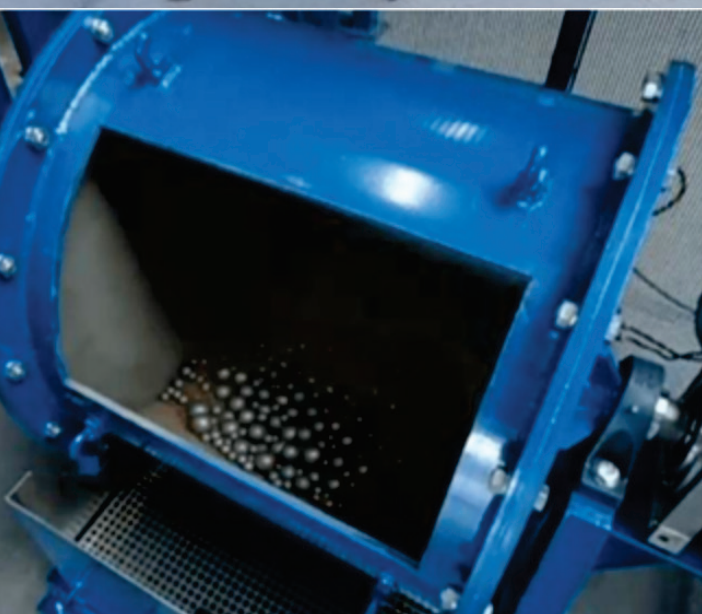
3.1. > Préparation du minerai d'or

L'objectif est d'obtenir une séparation efficace de l'or et de conditionner le matériau afin de maximiser l'efficacité du processus de concentration.

a. Or de type filonien :

Le minerai d'or requiert un processus de broyage ou doit être concassé et broyé pour en extraire l'or.

- Le concasseur à mâchoires est nécessaire pour réduire le minerai à un diamètre compris entre 3/4 de pouce et 1 pouce.
- Pour assurer la sécurité de l'opérateur, il est recommandé de prévoir une protection et une trémie de réception.
- Pour le processus de broyage, 800 kg de boulets d'acier sont nécessaires pour pouvoir pulvériser le minerai, dont la taille varie de 1 à 5 pouces.
- Pour les minerais de type filonien, une durée de broyage de 25 à 30 minutes est recommandée pour obtenir un taux de 80 % de matériau passant à la maille 100 ASTM (env. 150 microns).
- Il est recommandé de procéder à une analyse par tamisage pour vérifier la granulométrie obtenue.



b. Or de type alluvial ou fluvio-glaciaire :

Étant donné qu'il s'agit de gisements secondaires contenant de l'or disséminé, le minerai d'or requiert une étape de préconcentration afin d'optimiser la récupération.

- Cet équipement convient parfaitement pour le traitement de l'or dans les exploitations alluviales, car il permet de trier, de laver et de préconcentrer le matériau aurifère en une seule étape.

REMARQUE :

Le grand volume de minerai extrait doit être préalablement concentré au moyen de différentes méthodes de concentration adaptées aux coûts et aux besoins de la compagnie minière. Ces méthodes sont la gravitation, la concentration magnétique, la concentration électrique, la flottation par mousse, la floculation, etc.



3.2. Analyse granulométrique par tamisage du minerai d'or

L'analyse granulométrique par tamisage est fondamentale pour pouvoir comprendre la distribution du minerai précieux en fonction de la taille des particules. Toutefois, dans l'exploitation minière filonienne, elle se concentre davantage sur la séparation du minerai et la réduction des coûts du broyage, tandis que dans l'exploitation minière alluviale, elle se concentre sur l'optimisation de la capture de l'or libre et sur l'évitement des pertes dans les flux de concentration. Cette analyse permet d'adapter les processus et les équipements à chaque type d'exploitation minière afin d'obtenir une récupération optimale du minerai précieux.

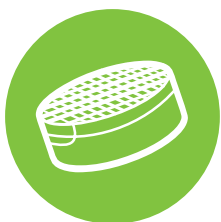
Ci-après, voici les étapes d'une analyse par tamisage :



ÉTAPE 1

Préparation de l'échantillon

- Le prélèvement des échantillons doit être homogène et représentatif
- Séchage de l'échantillon



ÉTAPE 2

Sélection des mailles ou des tamis

- Différentes tailles d'ouverture doivent être sélectionnées, en fonction des plages de taille à analyser.
- En principe, des tamis standard (ASTM ou Tyler) sont utilisés dans une série qui va des particules grossières aux particules fines.



ÉTAPE 3

Pesée de l'échantillon initial

Ce poids initial servira de référence pour calculer les taux de rétention dans chaque tamis.



ÉTAPE 4

Placement des tamis dans l'ordre décroissant :

Le plus gros se trouve en haut et le plus fin en bas, avec un plateau à la base pour collecter les particules les plus fines.

Effectuer le tamisage :

L'échantillon est placé sur le tamis supérieur et agité mécaniquement ou manuellement pendant une durée prédéterminée (de 10 à 20 minutes).



ÉTAPE 5

Collecte des matériaux dans chaque tamis

Pesée de chaque fraction

Calcul de la distribution granulométrique :

Il s'agit de calculer le taux de minerai recueilli dans chaque tamis, en divisant le poids de la fraction retenue par le poids total de l'échantillon initial puis en le multipliant par 100. Ensuite, il faut calculer le taux cumulé de rétention et de passage.



ÉTAPE 6

Évaluation du minerai précieux (le cas échéant) :

Analyse chimique de chacune des fractions afin de mesurer la teneur en or.

Fraction pour mesurer la teneur en or :

Calcul de la teneur du minerai pour déterminer dans quel tamis l'or est concentré.

3.3. Alimentation en minerai d'or prétraité



Le processus de concentration gravimétrique commence par l'alimentation contrôlée du matériau auparavant trié dans le réservoir d'agitation, qui homogénéise et concentre le minerai. Ce flux uniforme permet de maximiser l'efficacité du processus et d'améliorer la récupération de l'or au cours des étapes qui suivent.

Il est possible d'introduire le minerai dans le réservoir d'agitation par des godets ou des bandes transporteuses



4.

MISE EN SERVICE ET FONCTIONNEMENT DE L'ÉQUIPEMENT DE L'INSTALLATION GRAVIMÉTRIQUE

Ci-après sont présentées les recommandations techniques concernant la mise en œuvre et le fonctionnement de l'usine gravimétrique, une fois définie la granulométrie du minerai d'or à traiter par ce procédé. Ces recommandations concernent l'entrée du minerai dans le réservoir d'agitation, la table gravimétrique, le réservoir de recirculation, le brûleur, jusqu'à l'obtention d'un doré par fusion.

4.1. > Réservoir d'agitation

Description du processus

1

Activez le groupe électrogène ou la source d'énergie qui alimente l'installation de traitement gravimétrique. La procédure varie en fonction du type de générateur disponible dans chaque unité minière.

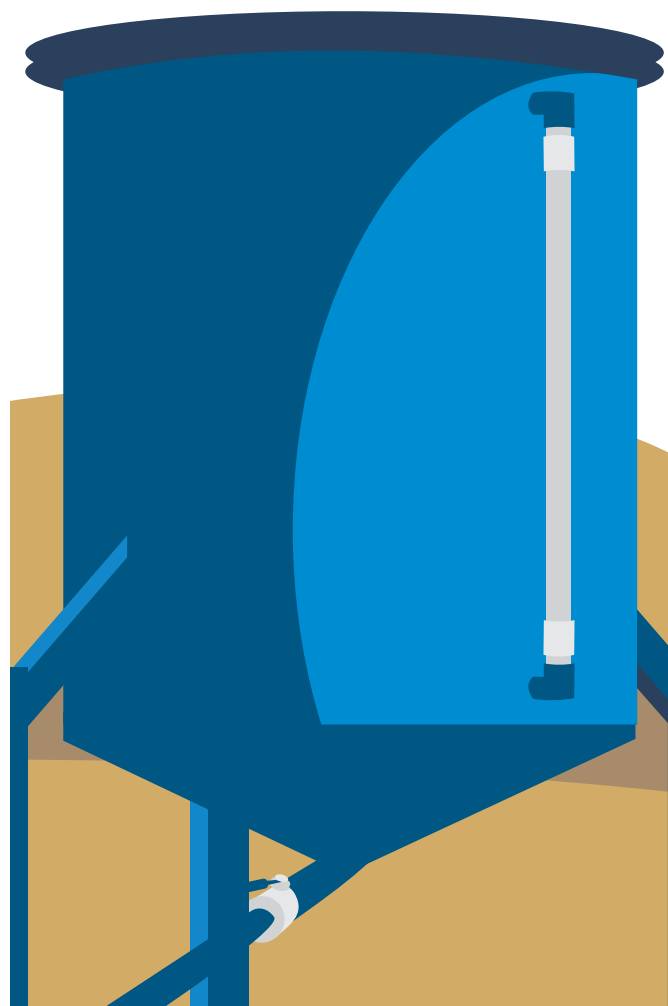
2

Remplir le réservoir d'agitation avec de l'eau jusqu'à environ 25 % de sa capacité totale.

Vérifier le niveau au moyen de la jauge d'eau pour s'assurer de sa précision.

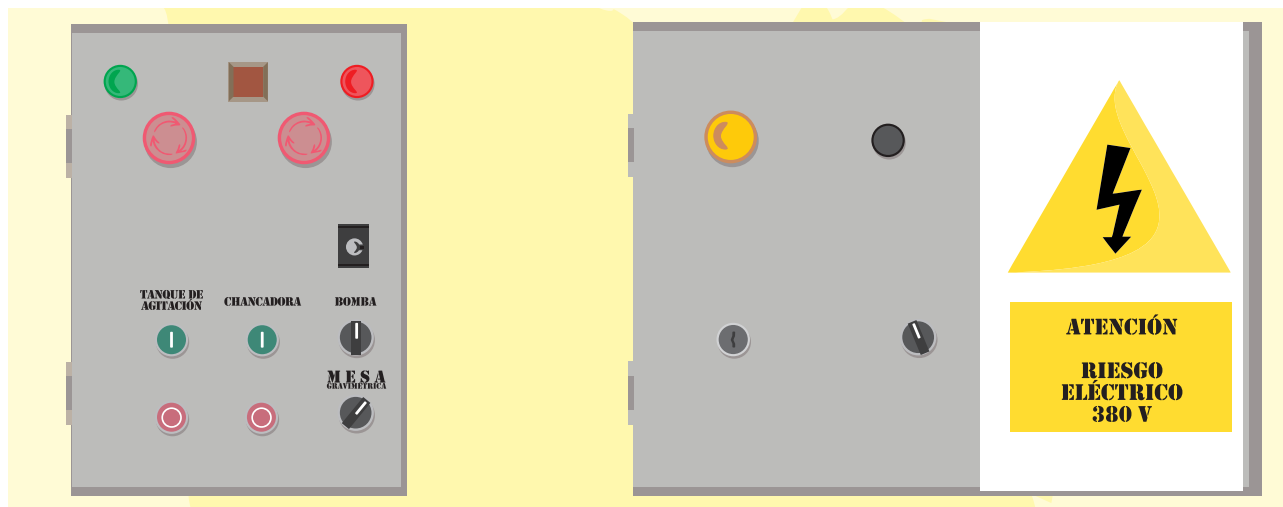
Introduire le minerai sélectionné pour démarrer le processus d'agitation. La quantité de minerai dépend du type de gisement :

- Or de type filonien : charger entre 600 et 700 kg de minerai, en fonction de la capacité du réservoir.
- Or de type alluvial : charger environ 100 à 200 kg de minerai, en fonction de la capacité du réservoir.



3

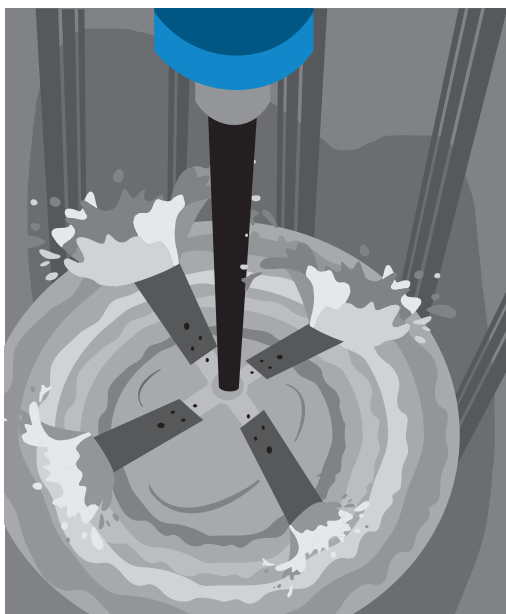
Activer le réservoir d'agitation à partir du boîtier de commande en activant le disjoncteur thermomagnétique. Ensuite, mettre en marche le variateur de fréquence au moyen de son interrupteur, en réglant la vitesse de rotation de l'agitateur en fonction du type de minerai à traiter et des spécifications requises.



4

Ajouter le minerai d'or fin préparé au préalable dans le réservoir d'agitation et poursuivre le processus pendant le temps nécessaire :

- **Minerai de type alluvial :**
Agiter pendant 5 minutes à 50 tours par minute (tr/min) jusqu'à ce que le matériau soit homogénéisé. Compte tenu de sa faible cohésion et de l'absence d'une matrice rocheuse dense, le matériau alluvial s'homogénéise et se répartit rapidement, ce qui nécessite un temps d'agitation plus court pour obtenir un mélange uniforme.
- **Minerai de type filonien :**
Agiter pendant 20 à 25 minutes à 35 tr/min afin de garantir une homogénéisation complète du minerai. Ce minerai provient de gisements de roches dures, où l'or est la plupart du temps enfoui dans une matrice minérale plus dense. L'agitation doit être prolongée pour garantir une désagrégation adéquate du matériau et un mélange homogène. Par ailleurs, le plus faible nombre de tours par minute permet d'éviter une usure excessive de l'équipement, étant donné que ce type de minerai est plus abrasif et plus dense que le minerai alluvial.



Les durées et les vitesses d'agitation doivent être ajustées pour obtenir une homogénéisation efficace de chaque type de minerai.

Cette étape de préparation de la pulpe permet de garantir un mélange uniforme et la mise en suspension des particules fines en vue de processus efficaces de concentration et de récupération des minerais.

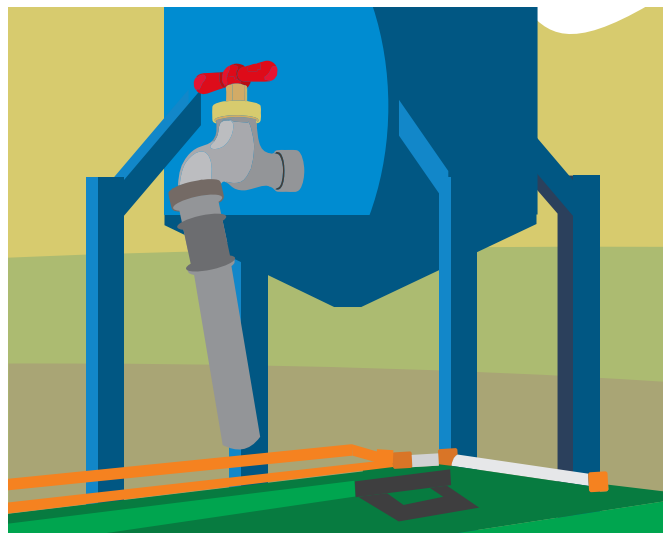
5

Décharger le matériau léger jusqu'à la table gravimétrique au moyen de la vanne de contrôle périphérique (produit de déschlammage). L'opérateur doit surveiller le processus pour détecter les blocages et déterminer à quel moment il est nécessaire de décharger le concentré de minerai par la vanne de contrôle axiale.

6

Décharger le concentré de minerai par la vanne de contrôle axiale inférieure. Ce processus prend environ 2 à 3 heures pour l'or alluvial et l'or filonien. Cette durée est fonction de plusieurs facteurs liés à la nature du minerai, au type de concentration et à la nécessité d'éviter la perte de minerai précieux. Il est également possible de réduire cette durée en ajoutant une table supplémentaire à l'installation.

Les déchets sont déversés dans un récipient, au moyen d'un pistolet d'arrosage, pour assurer le nettoyage complet du réservoir. Ensuite, le concentré provenant de l'agitateur est transféré manuellement vers la table gravimétrique afin d'y être traité.



4.2. Table gravimétrique

Description du processus

7

Procéder à un nettoyage complet du plateau en fibre de verre et des composants de la table gravimétrique. Ensuite, placer quatre seaux à chaque orifice pour la collecte des concentrés.





8

Ajuster et mettre à niveau les variables de fonctionnement de la table gravimétrique en fonction du type de minerai,

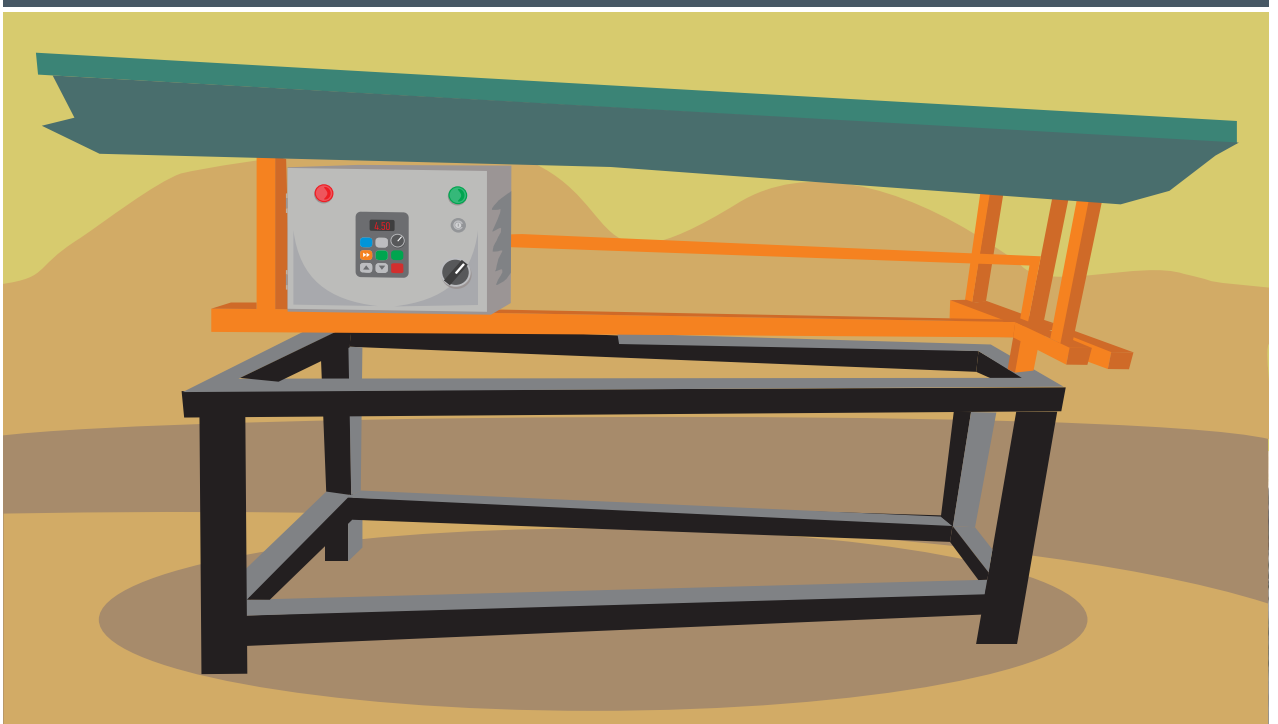
Or de type filonien :

- Vitesse de vibration : 35 VPM (vibrations par minute)
- Inclinaison longitudinale : 1 degré
- Inclinaison transversale : 8,5 cm

Or de type alluvial :

- Vitesse de vibration : 30-36 VPM
- Inclinaison longitudinale : 0,5 à 1 degré
- Inclinaison transversale : 5 cm

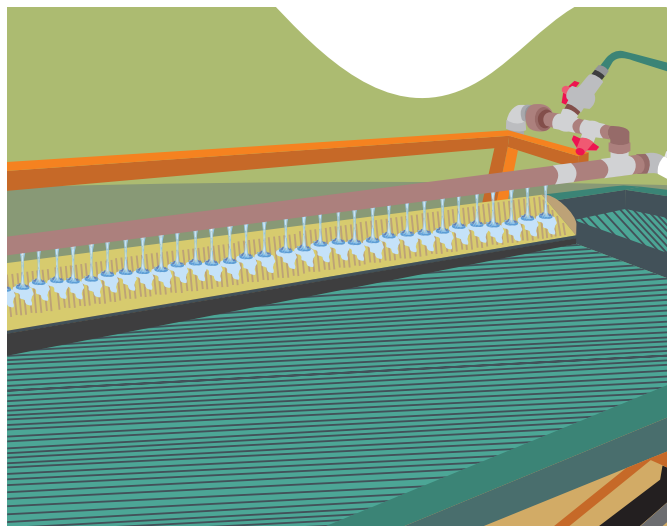
Ces configurations sont données à titre indicatif et sont conçues pour des tests initiaux. Il convient d'ajuster les variables et de les calibrer en fonction des caractéristiques spécifiques du minerai traité.



9

Activer le système d'irrigation et vérifier que l'eau est distribuée de manière uniforme sur l'ensemble du plateau et sur la partie amovible.

Pour mettre en marche la table, activer le disjoncteur thermomagnétique et placer le sélecteur en position « On » dans l'armoire électrique, en procédant de la même manière que pour les autres équipements de l'installation.



10

Le premier matériau à passer par la table de gravité doit être le matériau déchargé de la vanne latérale du réservoir d'agitation. Il convient de vérifier que la densité de la pulpe dans l'alimentation de la table de concentration est à peu près de 25 % de solides.

Ensuite, vérifier la position des séparateurs réglables pour chaque flux (concentré, milieu et résidus dans les récipients de réception) et contrôler périodiquement que les pièges de la partie amovible ne sont pas saturés.

En cas d'accumulation, récupérer le concentré dans la partie amovible. Pour ce faire, fermer la vanne d'évacuation de la pulpe de l'agitateur, arrêter la table et retirer la partie amovible pour la laver dans un récipient approprié.



11



Après avoir traité le minerai sur la table gravimétrique (déchargé par la vanne latérale de produit de déschlammage), il faut continuer à alimenter la partie amovible du plateau de la table à partir du concentré obtenu par la vanne axiale inférieure.

Or de type filonien :

- Utiliser le concentré qui s'écoule de la base du réservoir d'agitation (vanne axiale).
- Ouvrir la vanne de contrôle du système d'irrigation et régler le débit à un niveau adéquat, en évitant les turbulences excessives.
- Alimenter manuellement la partie amovible par petites portions au moyen d'une pelle afin d'éviter toute saturation des pièges.



Or de type alluvial

- Utiliser le concentré de minerai qui peut provenir du fond du réservoir d'agitation ou le matériau grossier qui est récupéré directement du crible vibrant.
- Ensuite, ouvrir la vanne de contrôle du système d'irrigation à un débit adéquat (en évitant de générer trop de turbulences).
- Alimenter manuellement la partie amovible au moyen d'une pelle et par petites portions afin d'éviter toute saturation des pièges.



12

Enfin, arrêter la table vibrante en appuyant sur le bouton rouge situé dans le coin inférieur droit du panneau du variateur. Ensuite, placer le sélecteur en position « Off » et désactiver le disjoncteur thermomagnétique.



4.3. > Réservoir de recirculation

Description du processus

13

Remplir le réservoir de recirculation à environ 80 % de sa capacité pour assurer les besoins en eau de l'équipement de l'usine gravimétrique. Ce volume nécessite entre 500 et 700 litres d'eau, quantité qui sera réutilisée. En moyenne, il convient de changer l'eau tous les 15 à 30 jours, en fonction de la fréquence d'utilisation.

14

Pour alimenter le réservoir d'agitation en eau, mettre en marche la pompe à eau en activant le disjoncteur thermomagnétique et en plaçant le sélecteur sur « On » sur le panneau de contrôle.

15

Pour éviter l'usure et la détérioration de la pompe, il convient de s'assurer qu'elle ne fonctionne pas à sec, qu'elle est toujours immergée dans l'eau et qu'il y a au moins un point de décharge ouvert.

16

Pour désactiver la pompe à eau du réservoir de recirculation, placer le sélecteur sur la position « Off » et désactiver le disjoncteur thermomagnétique.



4.4. > Brûleur

Description du processus

17

Séchage initial : Avant de procéder à la combustion, il est important de sécher le concentré, surtout s'il contient de l'humidité. Cette opération s'effectue dans un four à basse température afin d'éviter les éclaboussures ou les réactions inattendues au moment de la fusion.

18

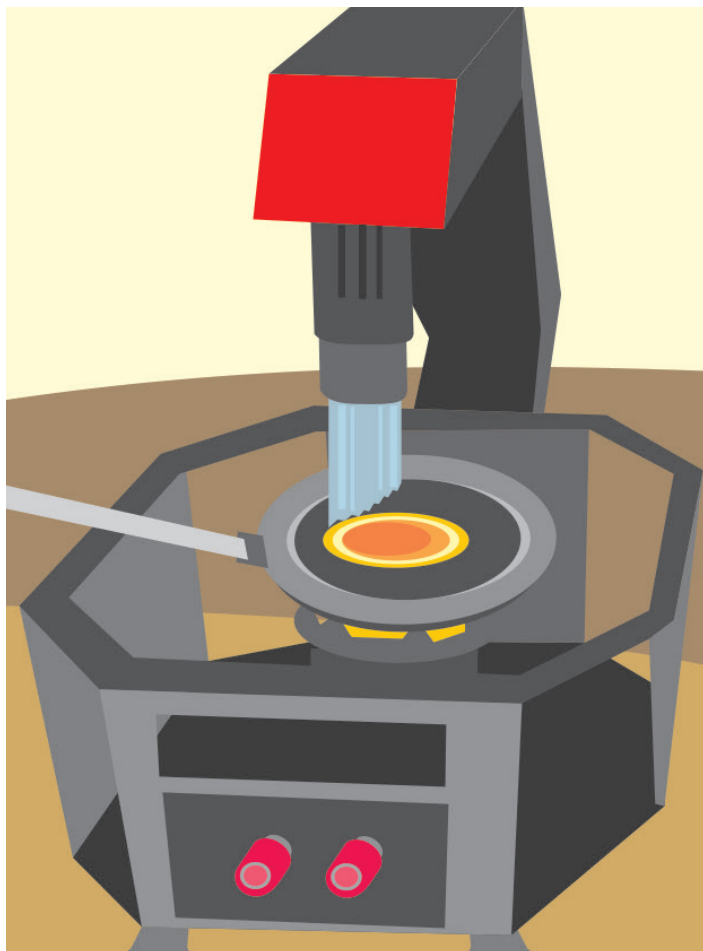
Séparation magnétique : utiliser un aimant pour éliminer les minéraux magnétiques (tels que la magnétite) présents dans le concentré. Le processus peut également être effectué au préalable sur la table gravimétrique avec le concentré humide.

19

Classification par tamisage fin : faire passer le concentré sec à travers des tamis fins, tels qu'un Tyler n° 140, pour séparer les particules fines de la gangue ou d'autres impuretés.

20

Préparation de l'équipement de combustion : allumer les brûleurs supérieurs et inférieurs sur une structure porteuse résistante à la chaleur, ceci afin de garantir une température homogène pour réchauffer le concentré.



21

Usage d'un mêchoir conique réfractaire : placer le concentré dans un mêchoir réfractaire, située entre les brûleurs.

22

Application contrôlée de la chaleur : faire chauffer lentement le concentré d'or pour brûler les composés organiques et autres impuretés, en effectuant des mouvements ondulatoires dans le mêchoir pour éviter que le matériau ne colle et pour faciliter la formation d'agregats (pellets).

4.5.

Four de fusion

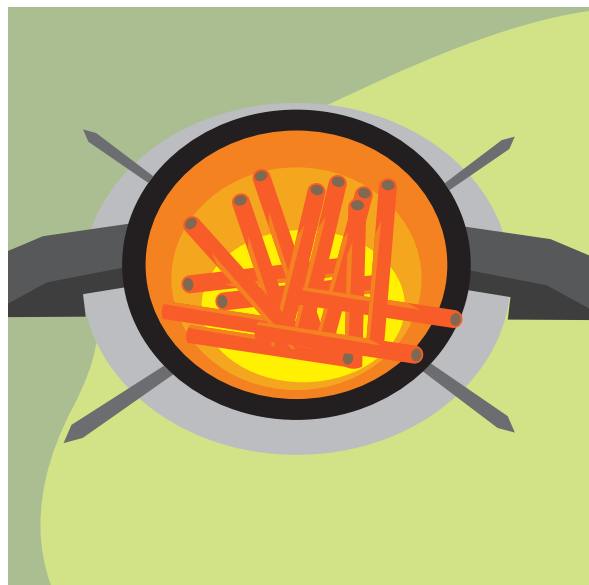
Description du processus

23

Ajouter les fondants : ajouter des fondants spécifiques, tels que le borax et le carbonate de sodium, qui contribuent à former un laitier avec les impuretés. Le borax abaisse la température de fusion, tandis que le carbonate de sodium aide à capturer les impuretés métalliques.

24

Préparation du creuset : utiliser un creuset composé d'un matériau réfractaire, tel que du graphite ou de la céramique résistant aux fortes températures, qui peut supporter la chaleur nécessaire sans réagir avec l'or ou les fondants.



25

Mélange du concentré avec les fondants : placer le concentré d'or et les fondants sélectionnés dans le creuset selon des quantités adéquates, généralement dans des proportions qui assurent la capture des impuretés et la fluidité du laitier.

26

Dépôt dans le four de fusion : Introduire le creuset dans un four de fusion, préchauffé au préalable pour pouvoir commencer le processus de fusion. La température est réglée entre 1 100 °C et 1 200 °C, ce qui est suffisant pour faire fondre l'or et les matériaux qui l'accompagnent.

27

Augmentation progressive de la température : Augmenter progressivement la température jusqu'à atteindre le point de fusion de l'or et des matériaux qui l'accompagnent. Le mélange fond complètement et les fondants réagissent avec les impuretés, formant alors une couche de laitier à la surface du métal en fusion. Vérifier que la flamme est de couleur bleue avant de couvrir le four puis attendre environ 2 heures, le temps que fonde le minerai.

28

Séparation de l'or et du laitier : en raison de sa densité plus élevée, l'or se concentre au fond du creuset, tandis que le laitier, qui contient les impuretés, remonte à la surface. Au cours de cette étape, le laitier peut contenir des oxydes métalliques et des particules de gangue indésirables.

29

Décrassage : utiliser un outil approprié (spatule ou pince de décrassage) pour retirer avec précaution la couche de laitier de la surface de l'or en fusion. Il est important de ne pas remuer trop rapidement pour ne pas entraîner les particules d'or.

30

Coulée dans des moules : une fois le laitier éliminé, l'or en fusion est coulé dans des moules en acier ou en graphite préchauffés afin d'éviter les contraintes thermiques. La coulée doit être réalisée de façon lente et contrôlée afin d'éviter les éclaboussures ou l'inclusion de laitier.

31

Formation de lingots d'or : l'or refroidi dans les moules prend la forme de barres appelées « lingots dorés », contenant principalement de l'or et de petites quantités d'argent et autres impuretés.

5.

RECOMMANDATIONS FINALES

5.1. > Recommandations générales

Sur la base de l'expérience acquise dans le cadre du projet planetGOLD Pérou, nous détaillons ci-dessous les exigences techniques à prendre en compte pour la mise en place et l'exploitation d'une usine gravimétrique :

EXIGENCES	DESCRIPTION
Aspect juridique	L'usine doit être située dans une concession de transformation, dans une zone industrielle ou avec une autorisation de transformation en bonne et due forme. Elle doit par ailleurs disposer de toutes les licences et autorisations nécessaires.
Énergie	Les équipements peuvent fonctionner avec une alimentation triphasée ou monophasée. Dans les sites qui ne sont pas raccordés au réseau national, il convient d'utiliser un générateur d'électricité adapté à la capacité de charge requise.
Hydrique	Cette technologie offre l'avantage de faire recirculer et de réutiliser l'eau, avec un volume d'environ 1,5 m ³ tous les 10 jours.
Infrastructure	Les équipements métallurgiques doivent être installés sur des surfaces en béton et être couverts afin d'être protégés des rayons du soleil et d'autres facteurs climatiques externes. Par ailleurs, le site doit disposer d'une ventilation et d'un espace suffisant pour manœuvrer le minerai, avec une signalisation adéquate.
Personnel	Un personnel spécialisé doit effectuer les premiers essais de réglage de l'équipement en fonction des caractéristiques du matériau à traiter. Le personnel de l'usine doit être formé au traitement du minerai aurifère par des procédés gravimétriques et doit être fiable, capable de gérer des indicateurs pour optimiser l'utilisation de l'équipement.

5.2. > Recommandations de sécurité

Le processus décrit dans ce guide n'est donné qu'à titre indicatif. Avant de procéder à la mise en place de l'installation gravimétrique, suivez les instructions du fournisseur de votre équipement.



N'OUBLIEZ PAS

- Afin d'éviter les risques de blessure, l'opérateur doit respecter les mesures de sécurité relative à l'équipement concerné.
- Toute modification apportée à l'équipement et toute utilisation de pièces non prévues par le fournisseur de l'équipement peuvent entraîner des risques de dommages matériels et corporels.
- Ne faites jamais fonctionner un appareil si les dispositifs de sécurité appropriés ne sont pas correctement installés.
- Les raccordements électriques doivent être réalisés par des électriciens qualifiés.

SÉCURITÉ ENVIRONNEMENTALE

- Veillez toujours à la propreté de votre espace de travail.
- Éliminez tous les déchets en respectant les réglementations environnementales applicables.
- Nettoyez tous les déversements conformément aux procédures de sécurité et de protection de l'environnement.
- Signalez toutes les substances rejetées dans l'environnement aux autorités compétentes.

SÉCURITÉ PERSONNELLE

- Prêtez attention aux risques liés aux gaz et aux vapeurs circulant dans la zone de travail.
- Éliminez tous les risques liés à l'électricité.
- Utilisez les équipements de sécurité conformément aux normes de l'entreprise.
- Placez une barrière appropriée autour de votre zone de travail.

PRÉCAUTIONS À PRENDRE AVANT DE COMMENCER TOUT TRAVAIL

- Vérifiez que tous les dispositifs de sécurité sont en place et correctement installés.
- Veillez à ce que l'équipement soit correctement isolé lorsqu'il fonctionne à des températures élevées.
- Veillez à disposer d'une voie d'évacuation dégagée.
- Veillez à ce que les produits ne puissent pas rouler ou tomber et entraîner des dommages.
- Assurez-vous de pouvoir accéder rapidement à une trousse de premiers secours.
- Avant d'effectuer des travaux d'entretien, débranchez et verrouillez l'alimentation électrique.



Financiado por:



Liderado por:



Implementado por:



En alianza con:

