

# *Caractérisation De La Pratique Et Besoins De L'orpaillage Artisanal A Dabolava : Vers La Conception D'un Séparateur Gravimétrique Adapté*

## *[Characterization Of Artisanal Gold Mining Practices And Needs In Dabolava: Towards The Design Of An Adapted Gravityseparator]*

RANDRIARIMANANA Erimahatratra Naivo Rody<sup>1</sup>, RAMAROSON Jean de Dieu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ecole Doctorale en Sciences et Techniques de l'Ingénierie et de l'Innovation, Université d'Antananarivo, BP 101, Madagascar.

[rodiirandriarimanana1994@gmail.com](mailto:rodiirandriarimanana1994@gmail.com)

<sup>2</sup> Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT) Antananarivo, Madagascar

Auteur correspondant : RANDRIARIMANANA Erimahatratra Naivo Rody. E-mail:

[rodiirandriarimanana1994@gmail.com](mailto:rodiirandriarimanana1994@gmail.com)



**Resume :** Cette étude caractérise l'orpaillage artisanal à Dabolava (Madagascar) pour définir les besoins d'une mécanisation adaptée. Malgré un cours de l'or attractif (350 000 Ar/g en 2024, ≈70€), l'activité, pratiquée par les orpailleurs de 10 à 60 ans, reste peu productive. L'analyse statistique montre une inefficacité majeure du travail manuel ( $R^2 = 0,23$ ) avec un rendement marginal de seulement 0,021 g/h. Les analyses granulométriques (modèle GGS) prouvent que la ressource est essentiellement composée d'or fin. L'application de la loi de Stokes établit une vitesse de chute terminale critique de 0,10 m/s, confirmant que les turbulences de la batée empêchent la sédimentation de ces micro-particules. Ces résultats démontrent l'urgence d'une transition vers une séparation gravimétrique mécanique. L'étude fixe ainsi le cahier des charges d'un prototype capable de maintenir un flux laminaire contrôlé, indispensable pour optimiser la récupération de l'or fin et améliorer durablement les revenus des micro-unités de production locales.

**Mots clés :** Orpaillage artisanal, Dabolava, Séparation gravimétrique, Loi de Stokes, Modèle GGS, Rendement marginal, Or fin.

**Abstract:** This study characterizes artisanal gold mining practices in Dabolava (Madagascar) to define the requirements for adapted mechanization. Despite an attractive gold price (350,000 Ar/g in 2024, ≈70€), the activity, practiced by individuals aged 10 to 60, remains inefficient. Statistical analysis reveals a major disconnect between labor and output ( $R^2 = 0.23$ ), with a marginal yield of only 0.021 g/h. Particle size analysis using the Gates-Gaudin-Schumann (GGS) model proves that the resource consists primarily of fine gold. The application of Stokes' Law establishes a critical terminal settling velocity of 0.10 m/s, confirming that manual panning turbulences prevent the sedimentation of these micro-particles. These findings demonstrate the urgent need for a transition toward mechanical gravity separation. This study

**sets the technical specifications for a prototype capable of maintaining a controlled laminar flow, which is essential for optimizing fine gold recovery and sustainably improving the income of local micro-production units.**

**Keywords:** Artisanal gold mining, Dabolava, Gravity separation, Stokes' Law, GGS model, Fine gold.

## 1. INTRODUCTION

L'orpaillage artisanal à petite échelle (OAPE) constitue une source de revenus vitale pour des millions de personnes à travers le monde, notamment dans les pays en développement. À Madagascar, ce secteur revêt une importance socio-économique considérable, contribuant de manière significative aux économies locales et, par extension, aux exportations nationales. Cependant, l'OAPE est largement caractérisé par l'utilisation de méthodes et d'équipements rudimentaires dont l'efficacité est notoirement faible, entraînant d'importantes pertes de métaux précieux, en particulier des fines particules d'or.

Le traitement du minerai aurifère par gravimétrie repose sur la différence de densité entre l'or et la gangue. Les dispositifs traditionnels, tels que la batée ou les sluice boxes (rampes de lavage), bien que simples et peu coûteux, opèrent souvent avec des rendements de récupération sous-optimaux, en particulier pour les particules dont la taille est inférieure à 50µm. En outre, ces méthodes exigent un effort physique considérable et peuvent engendrer des risques environnementaux, notamment lorsqu'elles sont couplées à l'utilisation illégale de mercure pour la récupération finale. Améliorer l'efficacité de la séparation gravimétrique est donc un impératif à la fois économique, pour maximiser la valeur des ressources exploitées, et environnemental.

Face à ce constat, l'amélioration des technologies de concentration gravimétrique adaptées aux contraintes des petites exploitations devient un enjeu majeur de l'ingénierie minière. Cependant, la conception d'un nouveau séparateur requiert une connaissance approfondie des conditions de traitement *in situ*, car l'efficacité d'un équipement dépend étroitement des caractéristiques du minerai (granulométrie, densité), des contraintes environnementales (disponibilité en eau, énergie) et des exigences logistiques des opérateurs (poids, transport, coût).

Or, pour la région de Dabolava, un site minier artisanal significatif à Madagascar, les données quantitatives et qualitatives sur les pratiques minières, les caractéristiques du minerai traité et les besoins réels des opérateurs sont rares ou inexistantes dans la littérature scientifique. **L'absence d'une caractérisation rigoureuse des pratiques locales constitue un verrou pour la conception d'un équipement véritablement adapté et performant.**

Le présent article a pour objectif de combler cette lacune en détaillant les résultats d'une étude de terrain menée auprès des opérateurs d'OAPE à Dabolava. Spécifiquement, nous cherchons à :

1. Décrire la méthodologie de l'enquête et caractériser les profils des orpailleurs interrogés.
2. Établir un état des lieux des pratiques et des équipements de séparation gravimétrique actuellement utilisés.
3. Identifier les défis opérationnels majeurs et les contraintes logistiques qui doivent impérativement être prises en compte lors de la phase de conception d'un nouveau séparateur gravimétrique.

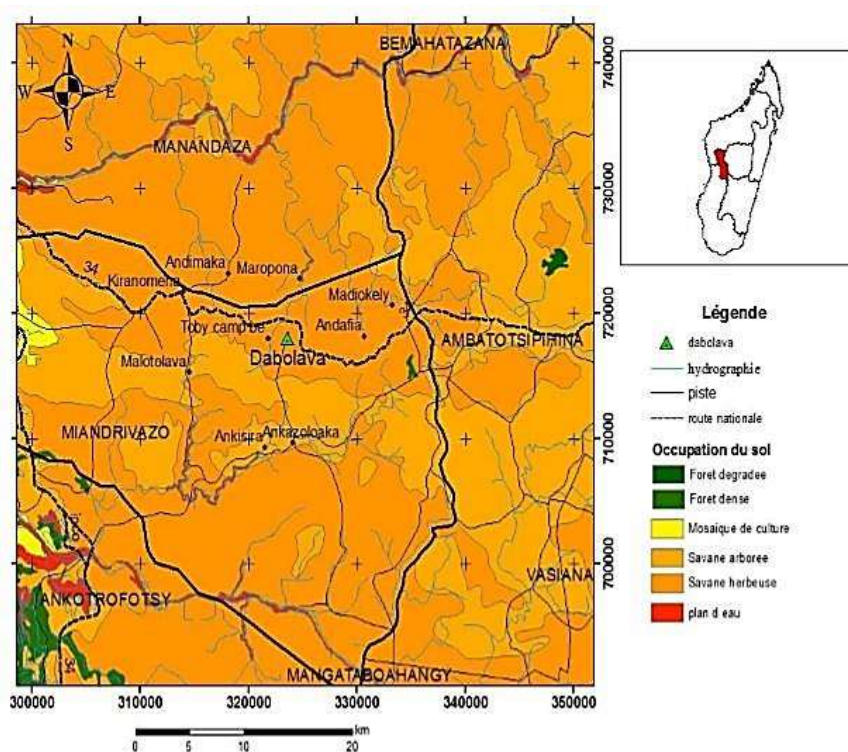
Les résultats de cette étude empirique serviront de base objective et de cahier des charges initial pour la phase de modélisation et la conception d'un séparateur gravimétrique plus efficace, s'inscrivant ainsi directement dans le cadre d'une recherche doctorale visant l'optimisation des technologies minières à petite échelle.

## 2. MATERIELS ET METHODES

### 2.1. Zone d'étude

Le site d'étude de Dabolava est localisé au Centre Ouest de Madagascar, approximativement à 170 km à l'ouest de la ville d'Antsirabe, sur l'axe routier menant à Morondava. Sur le plan administratif, Dabolava fait partie du District de Miandrivazo, Région de Menabe. La zone est traversée par la Route Nationale 34 (RN34) entre les points kilométriques 178 et 182. Située à une altitude d'environ 563m, elle est centrée sur les coordonnées géographiques 19°38'00"S et 45°42'00"E, couvrant une superficie totale d'environ 6.900km. Elle est délimitée :

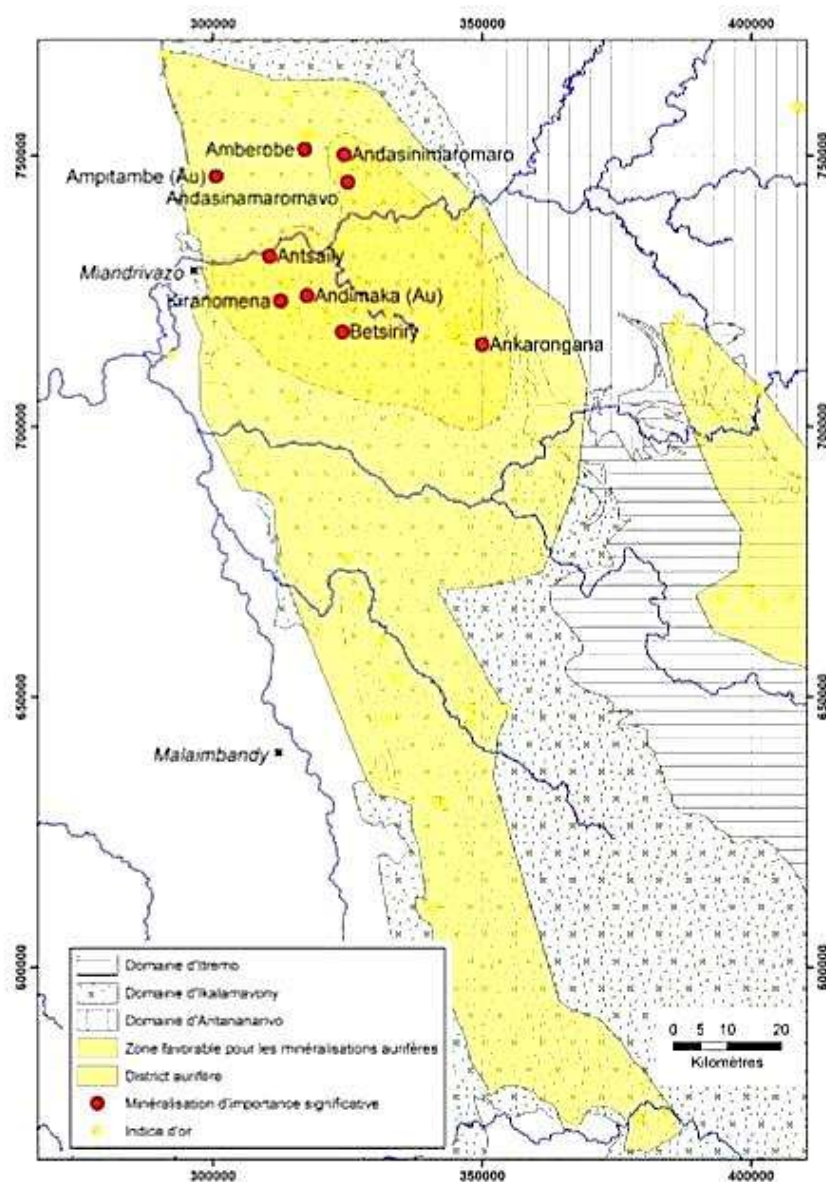
- ❖ au Nord par Betrandro, Andolomitahy ;
- ❖ à l'Ouest par Betamotamo, Kiranomena et Andimaka ;
- ❖ à l'Est par Madiokely, Morafeno ;
- ❖ et au Sud par Ankisira et Ankazoloaka.



**Figure 1 Localisation de la zone d'étude (Source BD500)**

Dabolava est reconnu comme l'un des districts aurifères majeurs de la région (comme l'illustre la **Figure 2**). Ce site présente une forte concentration d'activités, le rendant représentatif des défis organisationnels et techniques de l'OAPE malgache.

Le site est largement caractérisé par l'utilisation de techniques de traitement rudimentaires et non mécanisées, notamment la batée. Cette dépendance aux méthodes traditionnelles engendre d'importantes pertes en or, soulignant l'urgence d'une intervention technologique.



**Figure 2 : Carte des districts aurifères de Dabolava, Source : mémoire Miora Rakotondravony**

## 2.2. Conception de l'Étude et Échantillonnage

L'étude est de nature descriptive et exploratoire, visant à établir un état des lieux exhaustif des pratiques de concentration gravimétrique et à identifier les besoins technologiques des opérateurs.

La population cible était constituée de l'ensemble des opérateurs (mineurs, transporteurs et laveurs) et des responsables des unités de traitement du minerai aurifère opérant sur le site. Un échantillon total de  $N = 100$  participants a été interrogé.

La méthode d'échantillonnage adoptée était l'échantillonnage en Boule de Neige, une approche non probabiliste. Ce choix a été privilégié en raison de la nature informelle, dispersée, et potentiellement réticente de la population cible. L'entrée sur le terrain a

été assurée de manière intentionnelle auprès du “**Chef de Fokontany**” local, qui a agi comme facilitateur et a permis d'obtenir l'accès et la confiance des opérateurs.

Ce mécanisme de référence a assuré une couverture représentative des structures de travail observées (l'opérateur individuel et la micro-unité de production sous patronat).

Tous les participants ont été informés du but de l'étude et ont donné leur consentement libre et éclairé (verbal) avant l'administration du questionnaire. L'anonymat et la confidentialité des données ont été strictement assurés.

### 2.3. Outils de Collecte de Données

Deux principaux outils ont été utilisés pour la collecte des informations :

#### 2.3.1. Questionnaire Structuré

Un questionnaire structuré a été développé spécifiquement pour cette étude, comprenant un total de 20 questions, réparties en quatre sections thématiques pour une collecte de données complète :

**Tableau 1 : Structure thématique et objectifs du questionnaire d'enquête auprès des orpailleurs de Dabolava.**

SECTION THEMATIQUE	QUESTIONS INCLUSES	OBJECTIF PRINCIPAL
<b>A. Profil et Organisation (6 questions)</b>	6, 7, 8, 9, 17,18	Caractériser l'organisation du travail (individuel vs. équipe) et l'impact socio-économique (temps de travail, revenus alternatifs, vie familiale).
<b>B. Pratique de Traitement et Mineure (4 questions)</b>	1, 2, 3, 4	Évaluer la méthodologie d'extraction et de traitement (outils utilisés, description du processus, temps passé sur un site).
<b>C. Marché et Economie (4 questions)</b>	10, 11, 12, 13	Déterminer les facteurs économiques de l'activité (gain journalier moyen, prix de vente, mécanismes de fixation des prix, principaux acheteurs).
<b>D. Défis, Sécurité et Besoin (6 questions)</b>	5, 4, 15, 16, 19, 20	Identifier les problèmes majeurs (difficultés, menaces, accidents), les mesures de sécurité, la perception de l'avenir et les besoins d'amélioration (justification du projet).



### 2.3.2. Observations et Prélèvements de minerais

En complément des données d'enquête, des observations directes ont été menées pour documenter la réalité opérationnelle des unités de traitement.

□ **Mesures de terrain** : L'observation directe des **100 opérateurs** a permis de quantifier les paramètres critiques tels que les débits de traitement et les durées des cycles de lavage. Des instruments de mesure tels que : (GPS, Boussole) ont été utilisés pour évaluer la productivité et les contraintes logistiques du site.

□ **Protocole d'échantillonnage** : Afin de garantir une représentativité spatiale des caractéristiques du minerai, des prélèvements ont été effectués sur **cinq (5) sites distincts** de la zone de Dabolava. Sur chaque site, un échantillon composite de **5 kg** a été récolté, soit une masse totale de 25 kg envoyée pour analyse.

□ **Analyses et constatations** : Ces échantillons ont été soumis à des tests en laboratoire pour déterminer la densité du minerai, sa granulométrie et sa teneur en or. Bien que les analyses aient révélé des **teneurs en or très faibles** dans ces volumes de 5 kg, ces échantillons ont été fondamentaux pour définir les propriétés physiques du matériau (densité et distribution des tailles de particules). Ces paramètres techniques constituent la base du cahier des charges pour la modélisation et la conception du séparateur gravimétrique, visant précisément à améliorer la récupération là.

## 2.4. Traitement et Analyse des Données

Le traitement des données a été structuré en trois phases complémentaires afin de convertir les informations brutes du terrain en paramètres de conception pour un futur dispositif de séparation gravimétrique.

### 2.4.1. Analyse Statistique des Données d'Enquête

Les données collectées auprès des 100 orpailleurs (soit un échantillon de 20 individus par site) ont été compilées et analysées sous Microsoft Excel. Cette taille d'échantillon permet d'assurer la représentativité des tendances observées à Dabolava.

✚ **Calcul de la Moyenne ( $\bar{x}$ )** : Pour chaque indicateur (production, temps de travail, profondeur), la moyenne a été calculée sur la base des 100 répondants :

$$\bar{x} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n x_i$$

✚ **Calcul de l'Écart-type ( $\sigma$ )** : Il a été utilisé pour mesurer la variabilité des pratiques entre les 5 sites :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

### 2.4.2. Modélisation de la corrélation (Régression Linéaire)

Afin d'évaluer scientifiquement l'influence de l'effort physique sur la productivité, un modèle de régression linéaire simple a été appliqué. Ce modèle vérifie la corrélation entre la variable indépendante (x : temps de travail en heures) et la variable dépendante (y : production d'or en grammes) :

$$y = ax + b + \varepsilon$$

Le coefficient de détermination (**R<sup>2</sup>**) a été systématiquement calculé pour déterminer la part de variabilité de la production expliquée par le facteur temps, permettant ainsi d'identifier l'existence d'un "plafond d'efficacité" technique.

### 2.4.3. Analyse des caractéristiques physiques du minerai

Les données techniques issues des 25 kg de minerai ont été traitées pour définir les paramètres de séparation :

- Distribution Granulométrique : Ajustée selon le modèle de Gates-Gaudin-Schumann (GGS) pour identifier la finesse de l'or :

$$P(x) = 100 \left( \frac{x}{k} \right)^{\alpha}$$

- Analyse Chimique (XRF) : Les résultats de fluorescence X ont permis de déterminer la densité de la gangue ( $\rho_g$ ), donnée indispensable pour le calcul du critère de concentration. (Laboratoire OMNIS Madagascar)

### 2.4.4. Synthèse et Modélisation de la sédimentation

Le croisement des besoins des **100 orpailleurs** et des propriétés du minerai a permis d'appliquer la loi de Stokes pour modéliser le comportement des particules dans le futur séparateur :

$$v_t = \frac{(d^2(\rho_p - \rho_f)g)}{18 \mu}$$

Où :

- $v_t$  : vitesse de chute terminale (m/s) ;
- $d^2$  : diamètre de la particule d'or (m) ;
- $g$  : accélération de la pesanteur (9,81 m/s<sup>2</sup>) ;
- $\rho_p$  : masse volumique de l'or (19,300 kg/m<sup>3</sup>) ;
- $\rho_f$  : masse volumique de l'eau ( $\approx 1.000$  kg/m<sup>3</sup>) ;
- $\mu$  : viscosité dynamique de l'eau (1,002 10<sup>-3</sup> Pa.s).

## 3. RESULTATS

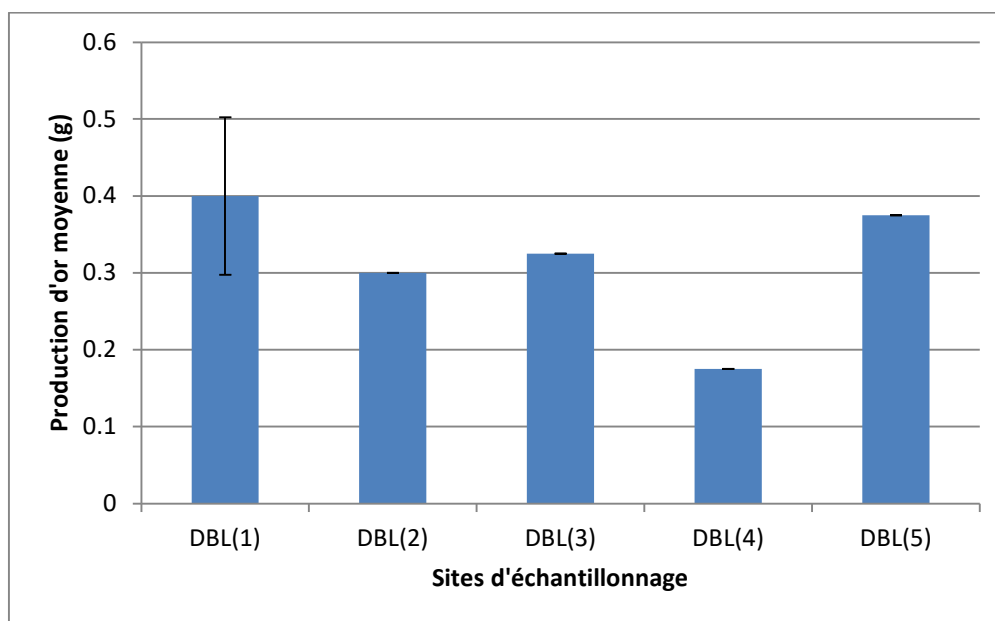
### 3.1. Analyse quantitative de la production aurifère

La production d'or a été enregistrée individuellement pour les 100 orpailleurs répartis sur les cinq sites (n=20 par site). Le **Tableau 2** présente la synthèse statistique de ces relevés.

**Tableau 2 : Moyennes et écarts-types de la production d'or par site (n=100)**

Site	Moyenne (g)	Écart-type ( $\sigma$ )
DBL(1)	0,4	0,103
DBL(2)	0,3	0,000
DBL(3)	0,325	0,000
DBL(4)	0,175	0,000
DBL(5)	0,375	0,000

Cette distribution est visualisée dans la **Figure 3**, qui met en évidence la supériorité productive du site DBL(1) ainsi que sa forte variabilité comparativement aux autres sites.



**Figure 3 : Production d'or moyenne par site d'échantillonnage à Dabolava**

### 3.2. Caractérisation socioprofessionnelle et organisation du travail

L'enquête de terrain confirme que l'orpaillage à Dabolava constitue le pilier économique central de la commune, impliquant une population très large dont l'âge s'étend de 10 à 60 ans. Cette activité est privilégiée par les villageois car elle surpasse nettement la rentabilité des secteurs traditionnels comme l'agriculture et l'élevage. Avec un revenu moyen estimé à 1 dg d'or par jour et par personne et un cours local s'élevant à 350 000 Ar le gramme en 2024, l'orpaillage garantit un gain journalier moyen de 35 000 Ar, ce qui explique la forte attraction exercée sur la main-d'œuvre locale.

L'analyse de l'organisation opérationnelle révèle deux structures distinctes sur les sites :

- **Le modèle individuel ou familial** : Praticqué principalement sur les berges et dans les lits de rivières, il repose sur un équipement rudimentaire (batée, pelle, assiette). Ce modèle est marqué par une très faible capacité de traitement et une forte dépendance aux conditions climatiques.
- **Le modèle de micro-unité (système "tompo-patana")** : Plus structuré, ce modèle s'organise autour d'un concessionnaire qui dirige une équipe d'environ six orpailleurs. La répartition des tâches y est spécifique : deux à trois hommes se concentrent sur l'extraction profonde du minerai, tandis que le reste de l'équipe assure les tâches de prétraitement et de lavage.

Malgré cette structuration, le mode de traitement demeure strictement manuel dans les deux cas. Cette dépendance exclusive à la force humaine et à des outils non motorisés limite drastiquement le volume de minerai traité quotidiennement. Ce plafonnement technique, couplé à la pénibilité physique, justifie la nécessité d'introduire une solution mécanique capable d'optimiser le rendement sans augmenter la charge de travail des opérateurs, notamment pour les tranches d'âge les plus vulnérables.

### 3.3. Évaluation des techniques de traitement et limites actuelles

L'observation directe des pratiques confirme l'usage exclusif d'outils rudimentaires tels que les pelles, les batées et les cuvettes. Le processus de concentration gravimétrique manuelle présente deux limites majeures identifiées par les orpailleurs :



- **Une faible capacité de traitement** : Le volume de minerai traité par individu est restreint par la fatigue humaine et la lenteur du procédé manuel.
- **Des pertes techniques élevées** : Les orpailleurs signalent une difficulté particulière à capturer l'or fin, ce qui concorde avec les analyses de sédimentation basées sur la loi de Stokes évoquées précédemment.

### 3.4. Analyse de la corrélation entre temps de travail et production

Afin de valider statistiquement l'inefficacité des méthodes manuelles, un modèle de régression linéaire a été appliqué sur les données de production en fonction du temps de travail investi (voir Figure 4).

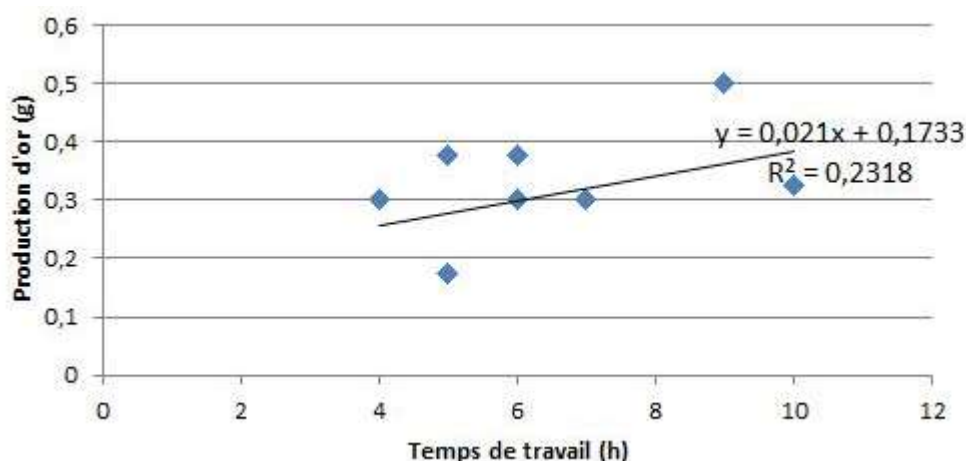


Figure 4 : Corrélation linéaire entre le temps de travail (h) et la production d'or individuelle (g)

Les résultats du modèle sont les suivants :

- **Équation de la droite** :  $y = 0,021x + 0,1733$
- **Coefficient de détermination** :  $R^2 = 0,2318$

L'analyse statistique par régression linéaire montre un coefficient de détermination ( $R^2 = 0,2318$ ). La pente de la droite de tendance est de  $a = 0,021$  avec une ordonnée à l'origine ( $b = 0,1733$ ). Ces valeurs indiquent que 23,18 % de la variabilité de la production est expliquée par le modèle, laissant une part de 76,82 % à l'erreur résiduelle ( $\epsilon$ ).

### 3.5. Caractérisation physique et comportement du minerai (Laboratoire)

Les tests effectués sur les 25 kg d'échantillons (5 kg par site) ont permis de quantifier les obstacles techniques rencontrés sur le terrain.

#### 3.5.1. Analyse granulométrique par le modèle GGS

L'ajustement des courbes granulométriques selon le modèle de Gates-Gaudin-Schumann révèle que la majorité de la masse d'or se concentre dans les fractions inférieures à [1 mm].

- **Module de distribution (m)** : La valeur obtenue indique une distribution de particules très fines.

- **Conséquence technique** : La prédominance de l'or fin explique les "minimes résultats" obtenus manuellement : la batée n'offre pas une tension superficielle et une force centrifuge suffisantes pour retenir ces micro-particules, qui sont évacuées avec les stériles.

### 3.5.2. Simulation de sédimentation par la loi de Stokes

L'application de la loi de Stokes aux particules fines de Dabolava a permis de calculer leur vitesse de chute terminale dans l'eau, paramètre fondamental pour le dimensionnement du futur dispositif.

- **Formule appliquée** :

$$v_t = \frac{(d^2(\rho_p - \rho_f)g)}{18 \mu}$$

- **Résultats** : En prenant le diamètre représentatif de l'or fin identifié à Dabolava ( $d = 0,1 \text{ mm}$  ou  $10^{-4} \text{ m}$ ), la vitesse de chute terminale obtenue est de l'ordre de **0,10 m/s**. En raison de cette faible taille des particules, la vitesse de sédimentation est considérée comme extrêmement lente.
- **Implication pour le séparateur** : Pour récupérer cet or fin, le futur dispositif devra impérativement maintenir un **flux laminaire** et une vitesse d'écoulement de l'eau très faible. Un courant trop rapide ou turbulent, même léger, engendrerait une force de traînée supérieure à la force de sédimentation, entraînant la perte définitive de la ressource avec les résidus (stériles).

## 4. DISCUSSION

### 4.1. Analyse de la précarité et de l'inefficacité du système artisanal

Les résultats de l'analyse quantitative (Section 3.1) et de l'enquête socioprofessionnelle (Section 3.2) mettent en lumière la vulnérabilité des orpailleurs de Dabolava. Bien que le site DBL(1) affiche une production moyenne plus élevée (**0,4 g**), l'écart-type important (**0,103**) traduit une instabilité critique des revenus. Cette variabilité, couplée à l'usage exclusif d'outils rudimentaires, confirme que l'orpaillage local reste une activité de survie où la réussite est davantage liée à la "chance" géologique qu'à une maîtrise technique.

### 4.2. Interprétation du modèle de régression : le "Plafond d'effort"

L'analyse de la corrélation entre le temps de travail et la production (Section 3.4) apporte une preuve statistique de l'obsolescence des méthodes actuelles.

- **La déconnexion effort-rendement** : Un  $R^2$  de **0,2318** signifie que **76,82 %** de la production d'or dépend de facteurs échappant au contrôle de l'orpailleur (erreur résiduelle  $\epsilon$ ). Cela démontre que travailler plus longtemps avec une batée ne garantit pas une augmentation proportionnelle du gain.
- **Le rendement marginal épuisé** : La pente  $a = 0,021$  indique qu'une heure de travail supplémentaire ne rapporte en moyenne que 21 mg d'or. Ce gain est dérisoire face à la dépense énergétique humaine requise, validant ainsi l'hypothèse qu'un seuil de rentabilité manuelle a été atteint.

### 4.3. La problématique de l'or fin : l'apport des tests de laboratoire

Les analyses de laboratoire (Section 3.5) expliquent physiquement les "minimes résultats" obtenus sur les 25 kg d'échantillons.

- **Limites de la batée (GGS) :** Le modèle de **Gates-Gaudin-Schumann** confirme une concentration d'or dans les fractions très fines. Or, la batée traditionnelle utilise la force centrifuge et la tension superficielle de manière imprécise. Les particules d'or fines, possédant une masse trop faible pour vaincre l'agitation manuelle turbulente, sont évacuées systématiquement avec les stériles.
- **Contraintes hydrauliques (Stokes) :** La loi de **Stokes** a démontré une vitesse de sédimentation extrêmement lente pour ces particules. Dans une batée ou une cuvette manuelle, le flux d'eau est souvent trop rapide et instable. Selon nos calculs, seul un **flux laminaire** avec une vitesse d'écoulement strictement contrôlée permettrait la sédimentation et la capture de ces micro-particules.

#### 4.4. Vers un cahier des charges pour le séparateur gravimétrique

La synthèse de ces discussions permet de définir les axes prioritaires pour la conception du séparateur adapté à Dabolava :

- **Augmentation de la capacité volumique :** Pour compenser le faible rendement marginal(*a*), le dispositif doit traiter de plus grands volumes de minerai que la main de l'homme.
- **Stabilité du flux hydraulique :** Contrairement au mouvement saccadé du lavage manuel, la machine doit garantir une vitesse d'eau constante et faible, conforme aux exigences de la loi de Stokes, pour piéger l'or fin identifié par le modèle GGS.
- **Réduction de la pénibilité :** La mécanisation de la séparation doit permettre de découpler la production de l'effort physique épuisant, transformant une activité de hasard en une exploitation semi-industrielle rationalisée.

#### 5. CONCLUSION

Cette étude a permis de caractériser précisément la pratique de l'orpaillage artisanal à Dabolava en croisant des données de terrain et des analyses de laboratoire. Le diagnostic initial révèle une activité de subsistance marquée par une forte pénibilité et une inefficacité technique flagrante. L'analyse statistique par régression linéaire a mis en évidence une déconnexion majeure entre l'effort investi et le gain obtenu : avec un coefficient de détermination **R<sup>2</sup> de 0,23**, il est prouvé que près de **77 %** de la production échappe au contrôle de l'orpailleur. De plus, le rendement marginal de seulement **0,021 g/h** confirme que l'orpaillage manuel a atteint ses limites productives, maintenant les exploitants dans une situation de précarité chronique.

La caractérisation physique du minerai apporte un éclairage scientifique sur les causes de cette faible productivité. Les analyses granulométriques et minéralogiques ont révélé que la ressource aurifère de Dabolava est essentiellement composée de particules très fines. Cette finesse extrême explique l'obsolescence des outils rudimentaires comme la batée, dont la dynamique de lavage ne permet pas de capturer efficacement ces micro-paillettes. L'application de la loi de Stokes a d'ailleurs permis de quantifier cette contrainte en établissant une vitesse de chute terminale critique de **0,10 m/s**. Cette valeur, extrêmement lente, rend l'or très vulnérable aux turbulences des méthodes de lavage manuelles qui emportent systématiquement le métal fin avec les stériles.

En définitive, les résultats de cette recherche fixent le cahier des charges technique nécessaire pour moderniser l'extraction sur le site. La transition vers une mécanisation adaptée ne doit pas seulement viser l'augmentation du volume traité, mais surtout la maîtrise des paramètres hydrauliques pour garantir un flux laminaire inférieur à la vitesse de sédimentation calculée. Cet article pose ainsi les bases scientifiques justifiant la conception d'un séparateur gravimétrique optimisé. Ces travaux ouvrent la voie à la phase de prototypage et de réalisation d'un dispositif mécanique capable de répondre aux besoins réels des orpailleurs de Dabolava tout en sécurisant leurs rendements.

## References

- [1]. Hentschel, T., Hruschka, F., &Priester, M. (2002). *Global Report on Artisanal and Small-ScaleMining*. Mining, Minerals and SustainableDevelopment (MMSD), IIED.
- [2]. Heemskerk, M. (2003). Self-employment and povertyalleviation: Women'swork in artisanal gold mines. World Development
- [3].Bockstael, E. (2017). Rapport sur l'orpaillage à Madagascar : Enjeux et perspectives.
- [4]. Wills, B. A., &Finch, J. (2015). *Wills' MineralProcessingTechnology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and MineralRecovery*. Butterworth-Heinemann.
- [5]. Gates, A. O. (1915). An Investigation of Crushers and Concentrators. *Engineering and Mining Journal*.
- [6]. Schumann, R. (1940). Principles of Comminution, I. Size Distribution and Surface Calculations. *MiningTechnology*.
- [7]. Stokes, G. G. (1851). On the Effect of the Internal Friction of Fluids on the Motion of Pendulums. *Transactions of the Cambridge Philosophical Society*.
- [8]. Falconer, A. (2003).*Gravityseparation: old technique/new methods*. Physical Separation in Science and Engineering.
- [9]. Couderc, J. P. (1985). *Sedimentation and fluidization*. In *Fluidization*. AcademicPress.