

CARACTERISATION DE L'OR DANS LE DISTRICT DE FANDRIANA, CENTRE-SUD DE MADAGASCAR PAR LES METHODES FLUORESCENCE-X

**T.Ramanantsoa<sup>1</sup>, A.J. Mandimbiharison<sup>2</sup>**

1. Ecole Doctorale – Ingénierie et géosciences, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (E.S.P.A.) - Université d'Antananarivo,lanitrafi@gmail.com ;

2. Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (E.S.P.A.),  
Mention Génie Géologique, B.P. : 1500, Antananarivo 101 Madagascar

**RESUME**

Cette recherche est effectuée dans le District de Fandriana, centre sud de Madagascar. Elle concerne sur la détermination des éléments chimiques qui accompagnent les grains d'or. Les échantillons d'or ont été analysés au laboratoire d'analyse de l'OMNIS-Madagascar par fluorescence X. L'objectif de cet article est de caractériser les grains d'or en vue de connaître les impuretés de l'or venant de cette région. Les résultats d'analyses montrent que les roches encaissantes de l'or dans le District de Fandriana sont gneiss et micaschiste. Les éléments chimiques caractéristiques des échantillons d'or de Fandriana sont le fer (17,96%) et l'argent (1,02%). Concernant la pureté, les échantillons analysés ont la teneur de 81,25 % en or pur. Alors à l'échelle du carat, il est compris entre 18 à 20 carats.

**Mots-clés** : Or, Fandriana, Fluorescence –X, gneiss, micaschiste

**ABSTRACT**

This research is carried out in the Fandriana District, south-central Madagascar. It concerns the determination of the chemical elements which accompany the grains of gold. The gold samples were analyzed at the OMNIS-Madagascar analytical laboratory by X-ray fluorescence. The objective of this article is to characterize the gold grains in order to know the gold impurities coming from this region. The analysis results show that the gold-hosting rocks in the District of Fandriana are gneiss and mica schist. The characteristic chemical elements of the samples gold of Fandriana are iron (17.96%) and silver (1.02%). Regarding purity, samples analyzed have a content of 81.25% pure gold. So on the carat scale, it is between 18 to 20 carat.

**Keywords**: gold, Fandriana, X-ray fluorescence, gneiss, mica schist

## 1 INTRODUCTION

Jusqu'à maintenant, les malfaiteurs impliqués dans l'exploitation minière illégale ont réalisé d'énormes profits illicites au détriment des économies nationales, des populations vulnérables et de l'environnement dans toute la région de l'Afrique [www.interpol.int.2021]. A Madagascar, l'or est majoritairement produit par des mineurs artisanaux et à petite échelle, de plus illégale [Razafindramaka Norolalaina, 2009]. Les autorités ne connaissent pas les quantités exactes d'or produites ; la provenance géographique de l'or dans le marché.

Ce travail de recherche dont le thème porte sur « Caractérisation de l'or dans le District de Fandriana, centre-sud de Madagascar par la méthode fluorescence – X » a pour objectif de déterminer les éléments chimiques affinés par les grains d'or dans cette zone, à fin d'identifier et de connaître leur provenance géographique .

Les méthodes utilisées pour atteindre cet objectif sont basées sur (1) la recherche bibliographique, (2) les travaux d'investigation sur terrain et (3) l'analyse des grains d'or au laboratoire par la fluorescence X.

Ce travail se divise en trois parties qui sont

- L'introduction qui présente la zone d'étude et le contexte de la minéralisation aurifère de Madagascar ;
- La méthode de travail et les matériels utilisés pendant la recherche ;
- Les résultats obtenus et la discussion

## 1.1 La minéralisation aurifère à Madagascar [2]

Les descriptions les plus détaillées des minéralisations aurifères ont été compilées et résumées par Besairie (1966), Premoli (1996) et Bournat et al. (1985). A Madagascar, l'or est présent dans la plupart des zones du socle cristallin (Rambelison, 1999), tant dans les formations d'âge Archéen que Protérozoïque. Les lithologies d'affinité basique sont particulièrement favorables aux concentrations aurifères où les minéralisations apparaissent soit dans des niveaux conformes, soit dans des veines sécantes à la fabrique régionale, ou encore sous forme disséminée (Nawaratne et Dissanayake, 2001). L'or épithermal est aussi présent dans des roches d'âge Phanérozoïque au nord de l'île, et pourrait également se trouver à proximité des centres volcaniques d'âge Cénozoïque.

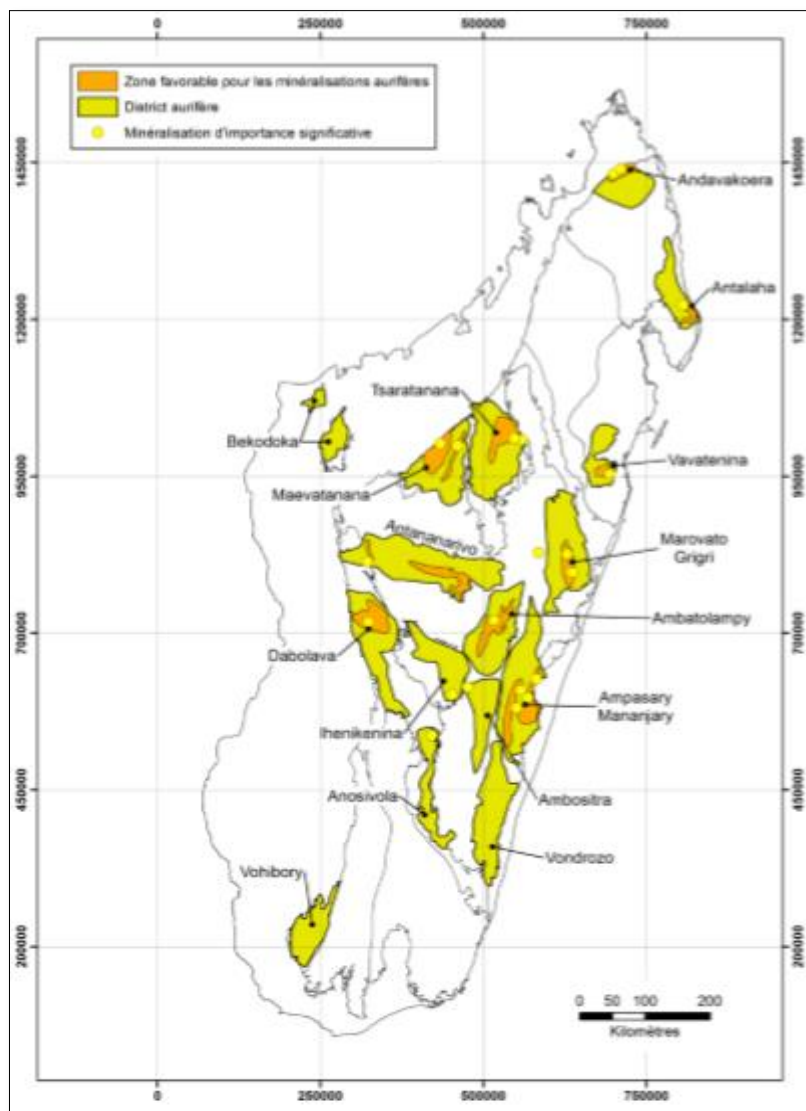


Figure 1: carte des districts aurifères et des zones à fort potentiel de Madagascar  
Source: PGRM. (2012). Cartes géologique et métallogéniques de la République de Madagascar à 1/1 000 000.

## 1.2 Localisation du District de Fandriana [1]

Le District de Fandriana est situé dans la partie Nord-Est du Région Amoron'i Mania. Il est délimité géographiquement par :

- $X_{max} = 533\,819.54$  m  $Y_{max} = 674\,917.95$  m
- $X_{min} = 476\,267.66$  m  $Y_{min} = 618\,226.87$  m

Il est composé de 13 communes dont Fandriana, Tsarazaza, Tatamalaza, Miarinaratra, Milamaina, Sahamadio, Betsimisotra, Sandrandahy, Fiadanana, Imito, Ankarinoro, Mahazoarivo, et Alakamisy –Ambohimahazo. La figure 1 ci-après représente la carte de localisation du District de Fandriana avec ses communes.

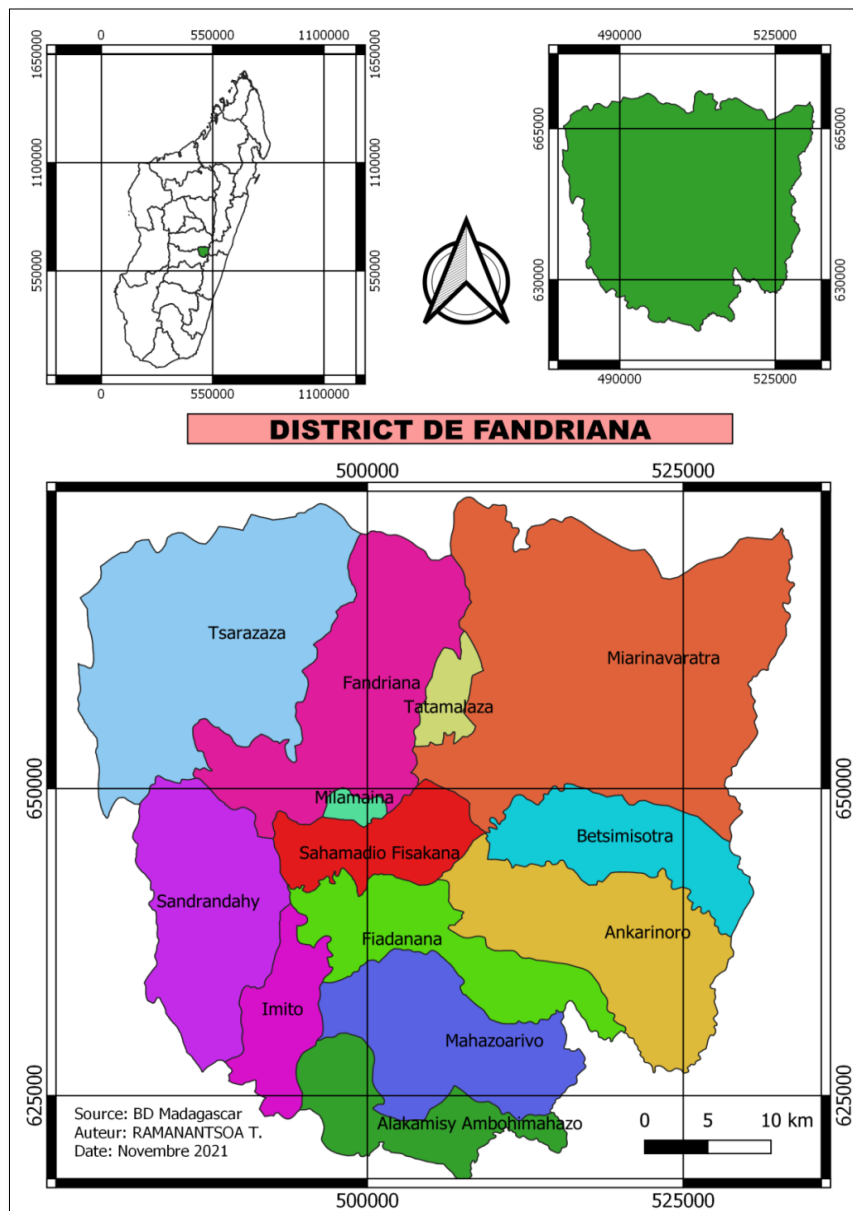


Figure 2 : Carte de localisation du District de Fandriana (Ramanantsoa Tiandrainy 2023)

### 1.3 Contexte géologique de Fandriana

La zone de Fandriana est cartographiée sur la feuille 0. 50 à échelle 1/200 000ème (J' JOO 1964). Il est rattaché au socle Précambrien de Madagascar et appartient au domaine d'Antananarivo (PGRM 2012).

D'après la figure 3, carte géologique de Fandriana, les formations géologique dans cette zone sont Migmatites granitoïdes à biotites ; Gneiss micacé ; Granite migmatite à orthite ; Granite monzonite ; Granite porphyroïde ; Gabbro à hypersthène et Granite filonien.

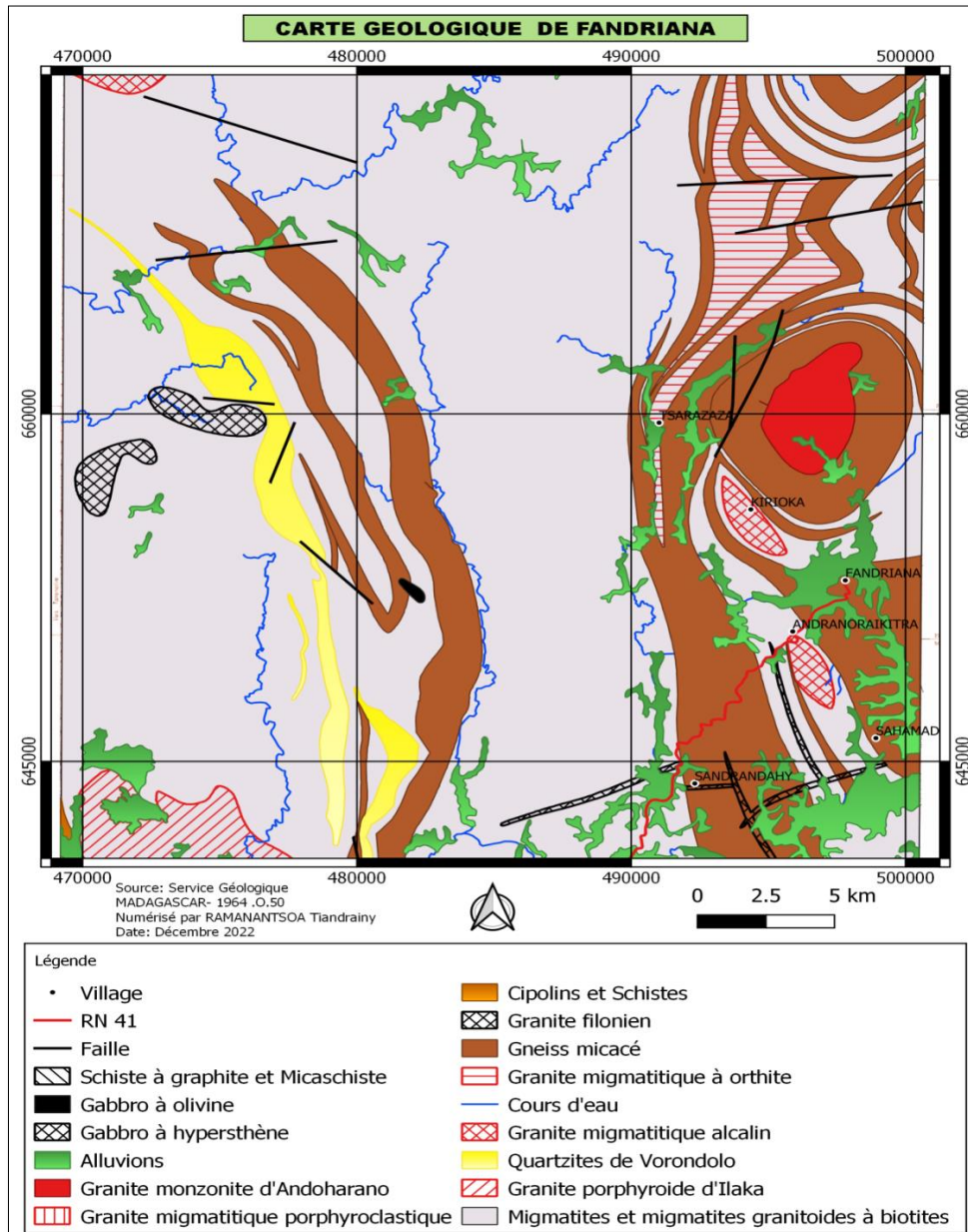


Figure 3 : Carte géologique de Fandriana ( Ramanantsoa Tiandrainy 2023)

## 2 METHODES ET MATERIELS

La méthodologie utilisée dans le présent travail a consisté à la recherche documentaire, aux travaux de terrain, aux prélèvements des échantillons, aux travaux de laboratoire.

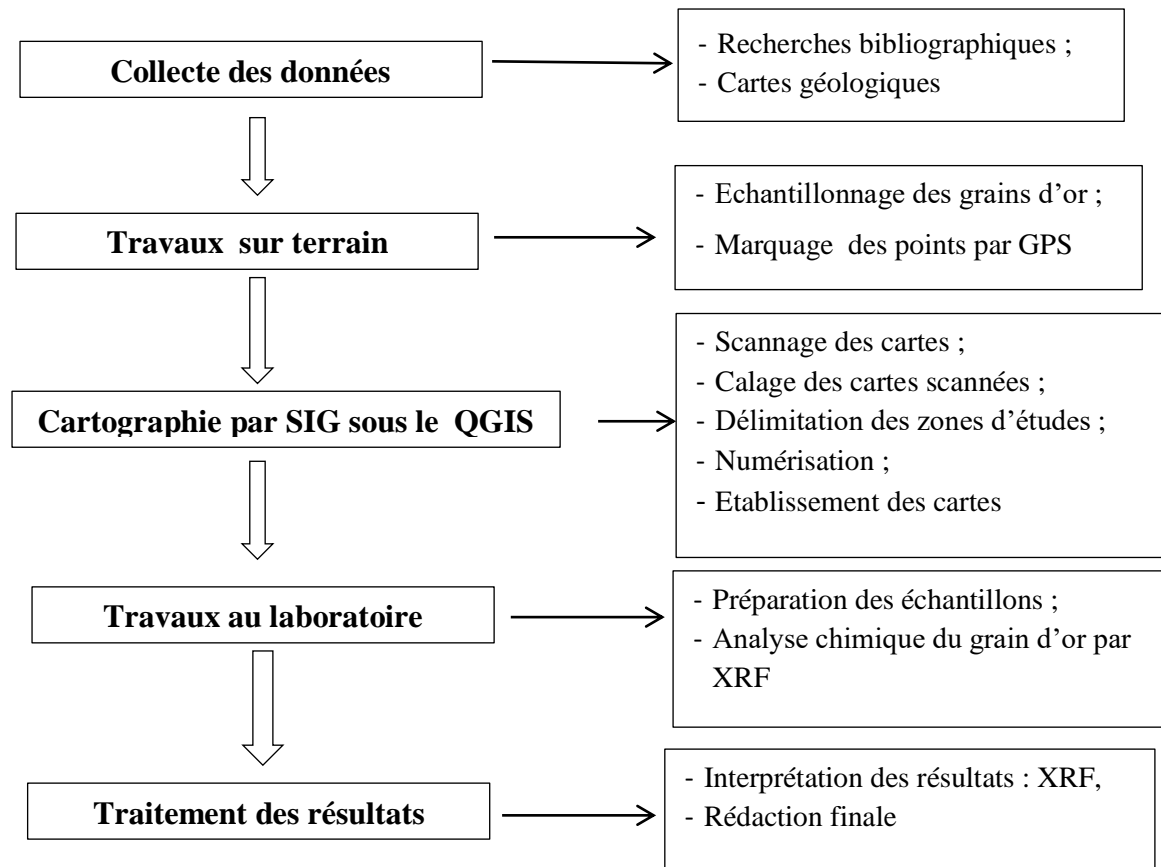


Figure 4 . : Méthodologie de travail (RAMANANTSOA Tiandrainy 2023)

### 2.1 Travaux de terrain

Les travaux de terrain consistent sur l'observation directe de la géologie générale de Fandriana et l'échantillonnage des roches porteuses ainsi que des grains d'or.

#### 2.1.1 Géologie générale

L'observation de la réalité nous permet de découvrir les affleurements dans les zones d'études. Les roches existantes sur terrain sont gneiss, quartzite, granite porphyroïde, migmatite, granite, schiste et micaschiste.



Figure 5 : filon de quartz et Gneiss(Fandriana)



Figure 6 : Quartzite ( Tsarazaza)



Figure 7 : Granite porphyroïde (Sandrandahy)



Figure 8 : Migmatite altéré (Sahatorendrika)



Figure 9 : Paysage granitique d'Andavakivotsoa (Tsarazaza)



Figure 10 : Schiste et Micaschiste (Miarinavaratra)

### 2.1.2 Echantillonnage d'or

Dans cette recherche, on a utilisé l'échantillonnage chimique en vue de déterminer la composition chimique et la teneur des composants des roches porteuses d'or et les impuretés de l'or naturel. Les méthodes d'échantillonnage appliquées sont l'échantillonnage

par détachage, en sillon et par trou. L'échantillonnage est réalisé dans sept (7) sites d'exploitation différents (figure 50) du District de Fandriana.

Tableau 1. Localisation des sites d'exploitation aurifère dans le District de Fandriana

| N° -éch.                             | Site                   | Minéralisation | Coordonnées géographiques |
|--------------------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|
| <b>Commune rurale Miarinavaratra</b> |                        |                |                           |
| 1                                    | Vondrona (Tratrambolo) | Primaire       | X : 527767<br>Y : 652560  |
| <b>Commune rurale Sandrandahy</b>    |                        |                |                           |
| 2                                    | Manaorozina            | Alluvionnaire  | X : 491521<br>Y : 643503  |
| <b>Commune rurale Betsimisotra</b>   |                        |                |                           |
| 3                                    | Ampahibe               | Alluvionnaire  | X : 510396<br>Y : 646151  |
| <b>Commune rurale Sandrandahy</b>    |                        |                |                           |
| 4                                    | Ambohipananana         | Alluvionnaire  | X : 483716<br>Y : 644176  |
| <b>Commune rurale Tsarazaza</b>      |                        |                |                           |
| 5                                    | Sahatorendrika         | Primaire       | X : 491880<br>Y : 658510  |
| <b>Commune Sahamadio</b>             |                        |                |                           |
| 6                                    | Ankafotra              | Éluvionnaire   | X : 494703<br>Y : 646760  |
| <b>Commune urbaine Fandriana</b>     |                        |                |                           |
| 7                                    | Andranomilevina        | Alluvionnaire  | X : 493011<br>Y : 653204  |

Le prélèvement des échantillons est réalisé auprès des orpailleurs artisanaux. On prélève 0,2 à 0,5 g d'or par site pour faire l'analyse. La figure 4 ci-après présente la carte d'indice d'or dans le District de Fandriana.

La figure 11, ci-après montre la carte d'échantillonnage d'or sur la carte géologique de Fandriana.



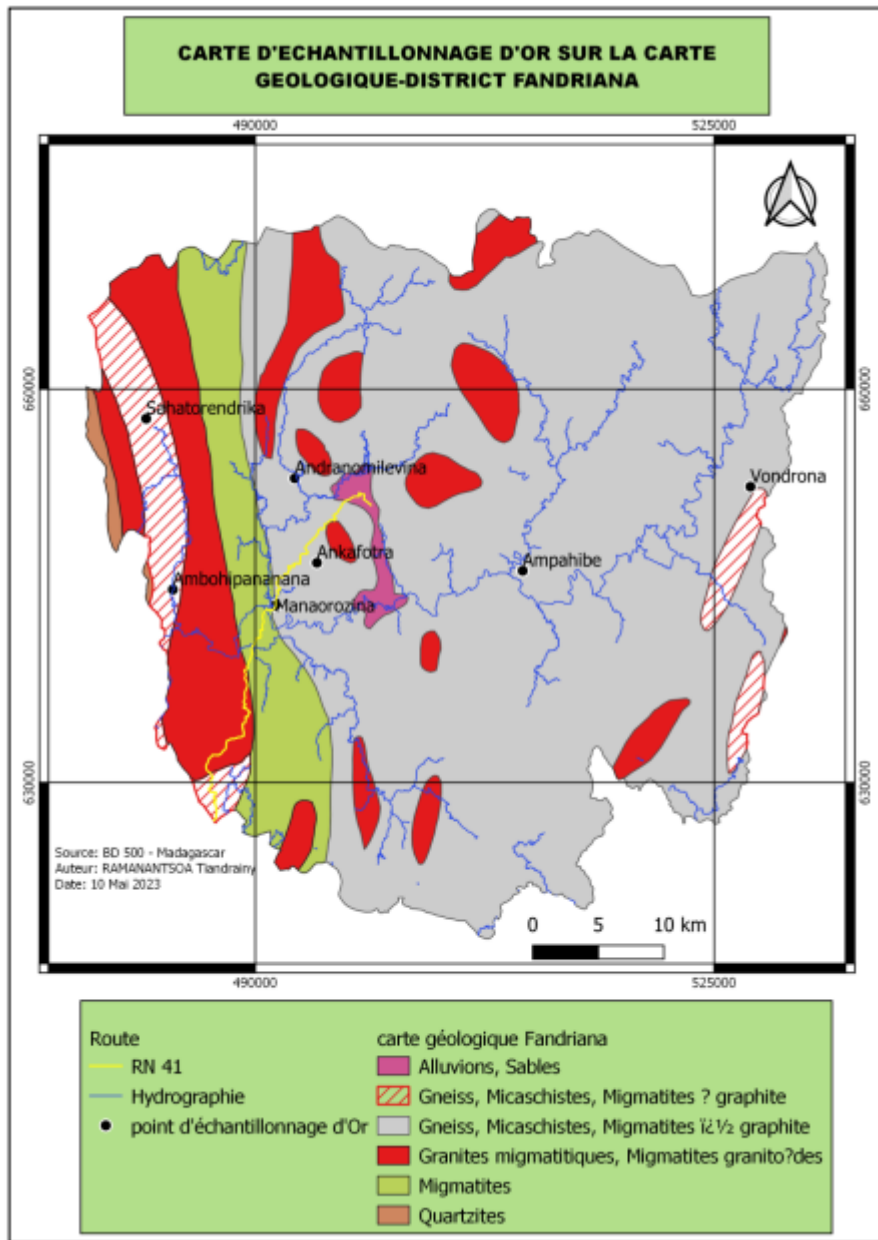


Figure 11. Carte d'échantillonnage d'or sur la carte géologique de Fandriana (RAMANANTSOA Tiandrainy 2023)



Figure 12 : échantillonnage en sillon  
(veine de quartz aurifère de Miarinavaratra)



Figure 13 : échantillonnage par  
détachage (Micaschiste aurifère de  
Mahazoarivo)



Figure 14 : échantillonnage par trou  
(Ankazombovoha-Sahamadio)



Figure 15 : Pesage de l'échantillon d'or<sup>A</sup>  
(Tsarazaza)

### 3 MATERIELS UTILISES

Les matériels utilisés pendant l'exécution de cette étude sont les outils de terrain comme le GPS (Global Position System), l'appareil photo, le marteau de géologue. Les matériels nécessaires pour la réalisation de cartographie numérique sont cités ci-après :

- Cartes géologiques de Miarinavaratra P 50 au 1/100 000ème (Welter et Razafimanantsoa 1959), modifiée par PGRM (2008)
- Cartes des indices d'or effectué par PGRM (2012) ;
- BD 500 Madagascar (base cartographiques : routes, chef-lieu, villages, réseaux hydro...)
- Logiciel de System d'Information Géographique et de traitement d'image satellite QGIS: base cartographique et traitement d'image satellite ;



Figure 16 GPS (Global Positioning System)



Figure 17 Carnet de terrain



Figure 18 Appareil photos



Figure 19 Ordinateur portable

Figure 16. Matériels d'études

## 4 Travaux de laboratoire

### 4.1 Laboratoire de l'OMNIS-Madagascar

La spectrométrie de fluorescence X (FX, ou XRF pour X-ray fluorescence) est une technique non destructrice qui sert à quantifier la composition élémentaire des échantillons solides et liquides permettant l'analyse élémentaire. Cette méthode est une analyse quantitative des éléments chimiques présents dans le minéral [4]. L'analyse a été faite au niveau du Laboratoire de l'OMNIS à Mangasoavina, Besarety Antananarivo.



Figure 20 : Spectromètre

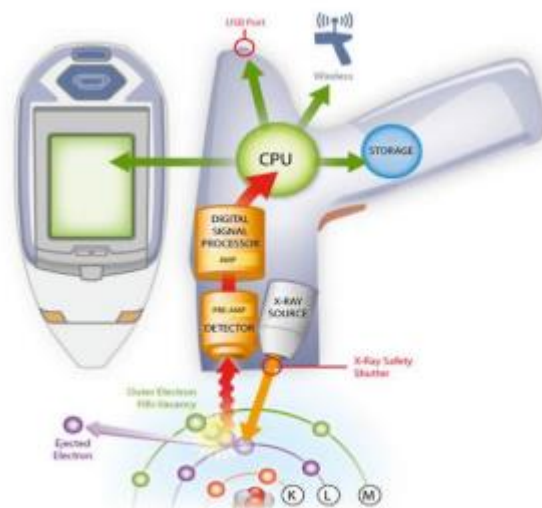


Figure 21 : Principe de spectromètre

### 4.2 Préparation de l'échantillon

L'analyse chimique des roches porteuses d'or consiste une préparation mécanique préalable. Elle est constituée par le pesage, l'étuvage, le broyage, le quartage, la séparation gravimétrique à la table à secousse et la séparation magnétique. La masse de la prise utilisée au départ est 500 g. L'objectif de la phase préparatoire est d'avoir une masse de 2 g d'échantillon avec un diamètre inférieur à 1mm ( $1\text{mm} < \varnothing$ ). Le flow sheat ci-après résume les procédés à suivre avant de faire l'analyse XRF.

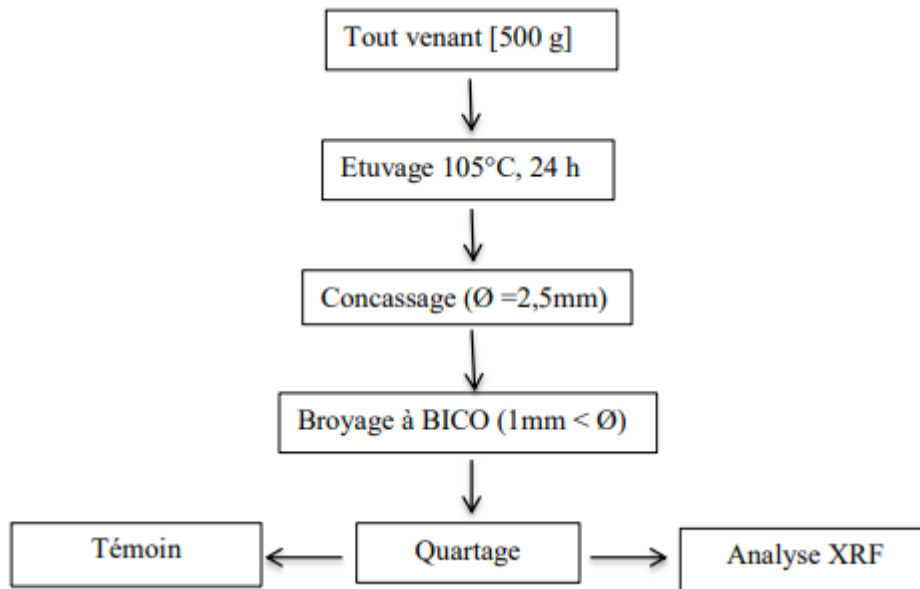


Figure 22 : Préparation mécanique de l'échantillon (RAMANANTSOA Tiandrainy2023)

Les figures ci-après présentent quelques activités pendant les travaux de laboratoire comme le quartage, l'étuvage et le broyage.



Figure 23 : Quartage



Figure 24 : Etuvage



Figure 25 : Broyage à Bico

## 5 RESULTATS

### 5.1. Résultats d'analyse des grains d'or

Les résultats d'analyse de l'or dans les sept (7) sites d'exploitations sont présentés par le tableau 3 ci-après. Les échantillons sont des concentrés alluvionnaires. Les éléments chimiques associés avec l'or détectés par la spectrométrie de fluorescence (XRF) sont le fer (Fe) et l'argent (Ag).

Tableau 2 : Résultat d'analyse des concentrés d'or

| Code ech | Commune        | Localité        | Poids (g) | Au(%) | Fe(%) | Ag(%) |
|----------|----------------|-----------------|-----------|-------|-------|-------|
| Or1      | Miarinavaratra | Vondrona        | 0,5       | 72,31 | 27,41 | 0,27  |
| Or2      | Sandrandahy    | Manaorozina     | 0,44      | 71.60 | 28.21 | 0.18  |
| Or3      | Betsimisotra   | Ampahibe        | 0,5       | 53.19 | 46.80 | x     |
| Or4      | Sandrandahy    | Ambohipananana  | 0,42      | 84.01 | 15.50 | 0.1   |
| Or5      | Tsarazaza      | Sahatorendrika  | 0,30      | 94.65 | 2.83  | 2.45  |
| Or6      | Sahamadio      | Ankafotra       | 0,34      | 88.93 | 11.06 | x     |
| Or7      | Fandriana      | Andranomilevina | 0,5       | 95.13 | 3.33  | 1.36  |

Les éléments accompagnateurs des concentrés d'or par site d'exploitation sont exposés par la figure 26. Ils sont toujours de Fe et de l'Ag.

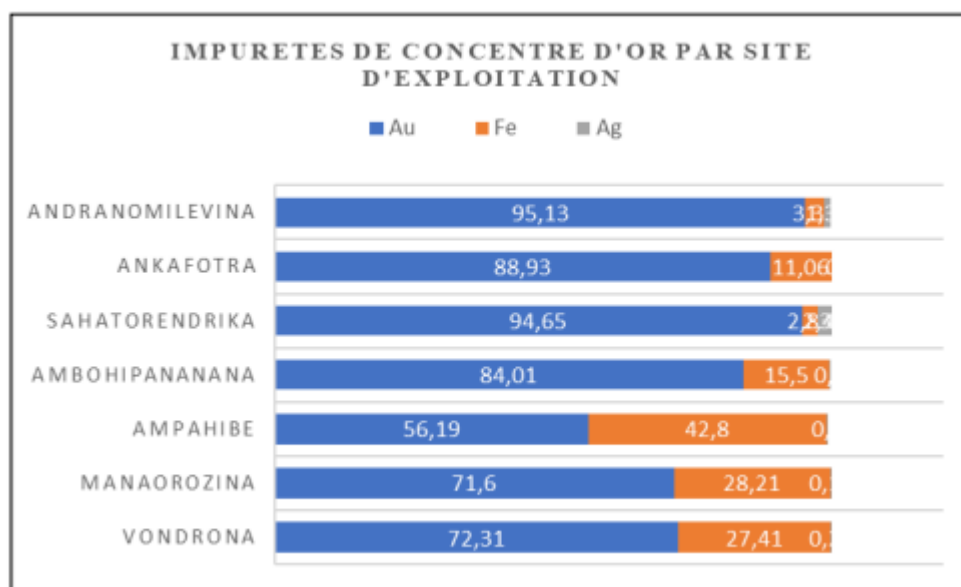


Figure 26 : Impuretés de concentré d'or par site d'exploitation –District de Fandriana (RAMANANTSOA Tiandrainy 2023)

### 5.1.1 Teneur en Fe dans le concentré d'or

L'or est un élément sidérophile (siderophile éléments ou « iron loving éléments ») qui est une affinité avec le fer métallique. La teneur moyenne du Fe vaut 15,90 % de l'échantillon prélevé.

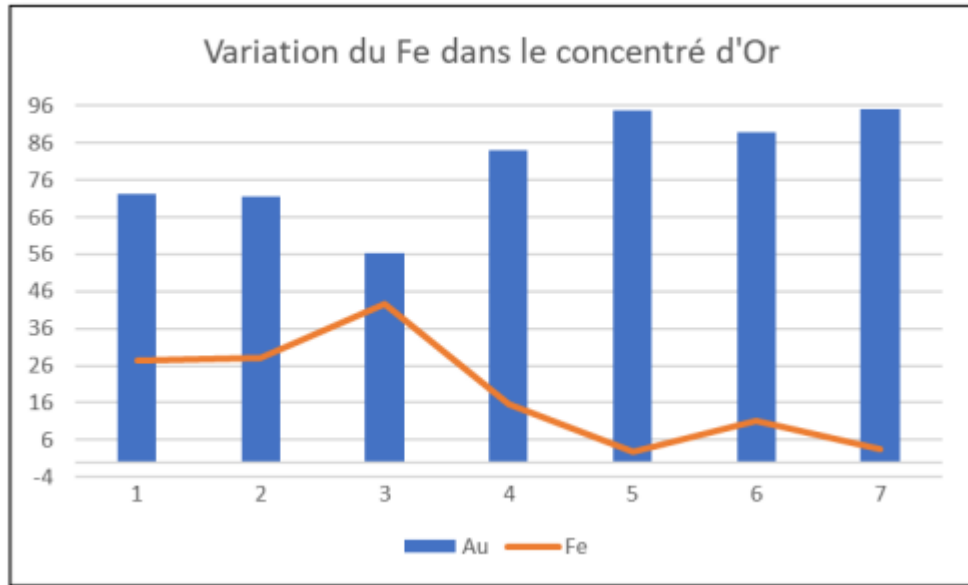


Figure 27 : Variation de l'élément fer (Fe) dans le concentré d'or (RAMANANTSOA Tiandrainy 2023)

### 5.1.2 Teneur en argent (Ag) dans le concentré d'or

L'élément chimique Argent (Ag) est détecté dans tous les échantillons analysés. Sa teneur varie de 0,10 à 2,45 %. La teneur moyenne de l'argent dans les sept (7) sites d'exploitations d'or est de 1,02%.

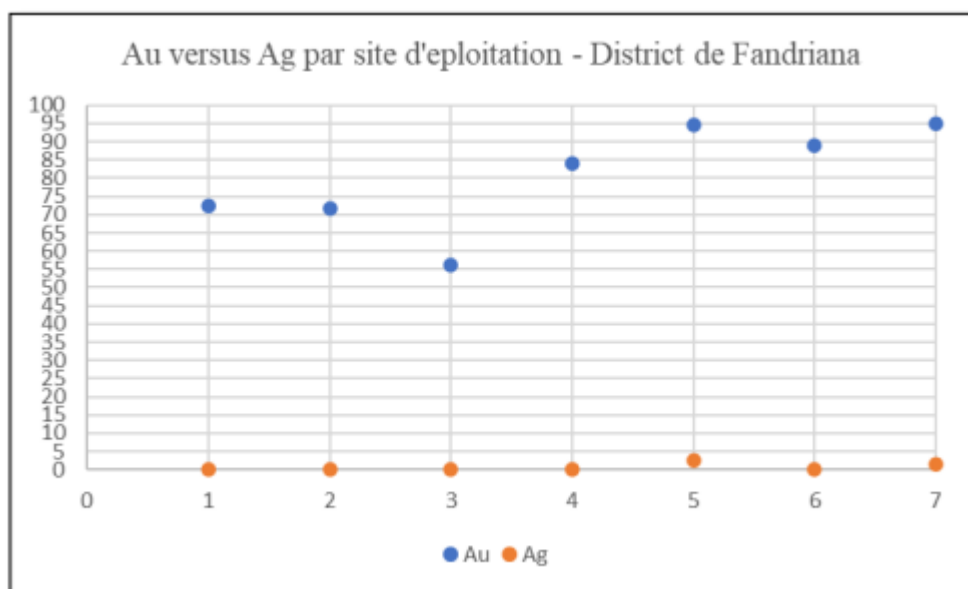


Figure 28 : Au versus Ag par site d'exploitation (RAMANANTSOA Tiandrainy 2023)

## 6 DISCUSSION

La discussion ici concerne sur l'étude comparative des caractéristiques de l'or dans le District de Fandriana par rapport aux résultats d'analyses des échantillons dans les trois gisements d'or de Madagascar dont Maevatanana, Mananjary et Ambilobe[5]. Le tableau N°4 ci-après présente les résultats d'analyses des échantillons d'or dans les quatre Districts aurifères.

Tableau 3 : Tableau comparatif des résultats d'analyses des grains d'or de quelques gisements de Madagascar (ANOR-MMRS 2018) .

| N° | Distriet           | poids (g) | Au (%)       | Ag(%)       | Cu(%)       | Fe(%)        |
|----|--------------------|-----------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| 1  | Maevatanana        | 2,16      | 77,39        | 6,43        | 0,47        | 2,92         |
| 2  | Mananjary          | 2,13      | 88,40        | 2,28        | 0,13        | 2,42         |
| 3  | Ambilobe (Betsika) | 36,07     | 69,90        | 26,95       | 0,04        | 37,59        |
| 4  | <b>Fandriana</b>   | <b>3</b>  | <b>81,25</b> | <b>1,02</b> | <b>0,00</b> | <b>17,96</b> |

Les impuretés chimiques affinées par tous les échantillons de grains d'or sont le fer, l'argent, et le cuivre. Le fer est le plus abondant qui atteint d'un pourcentage de 2,42% en masse, cas de l'or de Maevatanana et 17 % pour Fandriana. Le caractère spécifique de l'échantillon venant de Fandriana est l'inexistence de l'élément cuivre si les autres gisements ont une trace de cuivre varie de 0,04 à 0,47%. La figure 29 présente les taux de chaque élément chimique par lieux d'échantillonnage.

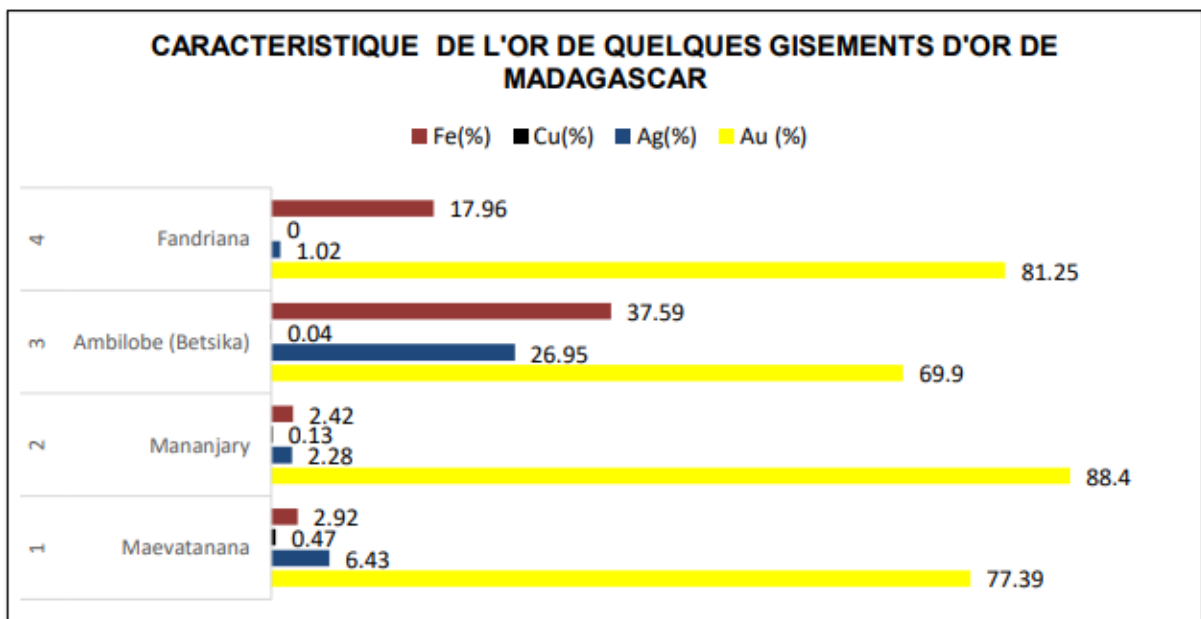


Figure 29 : Caractéristiques de l'or de quelques gisements d'or de Madagascar (RAMANANTSOA Tiandrainy 2023)

### 6.1 Notion sur le titre de l'or [3]

L'or naturel n'est pas pur. C'est un mélange d'or et d'impuretés. Les impuretés typiques sont l'argent et le cuivre. Cet or naturel est commercialisé sous forme de doré. La pureté de l'or est exprimée en carats (ct) ou en pourcentage. Le pourcentage de pureté varie de 0 à 100%, où 0% ne contient pas d'or et 100% constitue de l'or pur ; ou l'échelle des carats va de 0 à 24, où 0 carat ne contient pas d'or et 24 carats signifient de l'or pur (99,9%).

| Carats    | 24    | 22    | 20    | 18    | 16    | 14    | 12    | 10    | 8     | 6     | 4    | 2    | 0 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|---|
| % or      | 99,99 | 91,67 | 83,34 | 75,01 | 66,68 | 58,35 | 50,02 | 41,69 | 33,36 | 25,03 | 16,7 | 8,37 | 0 |
| Millièmes | 999   | 917   | 833   | 750   | 667   | 584   | 500   | 417   | 337   | 250   | 167  | 84   | 0 |

Figure 30 : échelle des carats

La comparaison des échantillons par gisements et par la pureté de l'or est mentionnée sur la figure 30. Selon la recherche effectuée, le pourcentage de pureté de l'or venant de Fandriana est de 81,25 % en or pure.

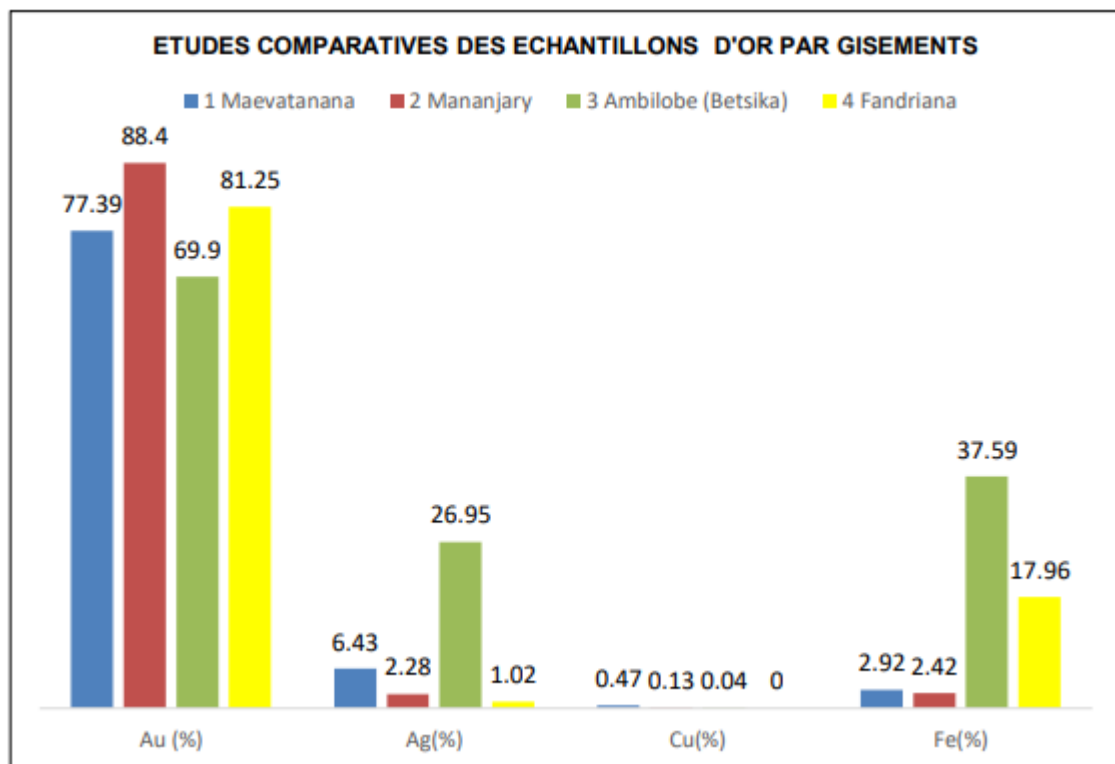


Figure 31. Études comparatives de l'or dans quelques gisement de madagascar (Ramanantsoa Tiandrainy 2023)



## CONCLUSION

Le District de Fandriana est une zone favorable en exploitations aurifères artisanales. Le nombre de site d'orpaillage dans la zone d'études s'élève à sept (7), reparti dans sept communes. Alors, on a sept échantillons d'or de trois (3) gramme à analyser.

Les méthodologies adoptées pour effectuer cette recherche est (1) la recherche bibliographiques sur l'exploitation aurifère dans le District de Fandriana,(2) la descente sur terrain qui consiste sur l'échantillonnage des grains d'or auprès des orpailleurs et (3) la caractérisation analytique de l'or par la fluorescence –X au sein du laboratoire OMNIS de Madagascar.

Le résultat de cette étude montre que les roches encaissantes de l'or dans le District de Fandriana sont le gneiss et le micaschiste. Les impuretés des échantillons prélevés dans les sept sites d'exploitation sont le fer (Fe) et l'argent (Ag) avec une teneur respective de 17,96% et 1,02%. Concernant la pureté de l'or, il est compris entre 18 à 20 carats.

Il serait mieux d'approfondir cette sujet de caractérisation de l'or dans le District de Fandriana par ma thèse qui proposera des autres methodes analytiques comme la spectroscopie Raman qui pourra détecté un particule nanométrique (10-9m) et l'utilisation de microscopie électronique à balayage (MEB) pour l'étude morphoscopies des grains. Cette perspective de recherche visera de connaitre les signatures géochimiques et minéralogiques de l'or afin de déterminer sa provenance géographique.

-----oooOOooo-----

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Analyse chimique quantitative de Vogel. J. Mendham, R.C. Denney, J.D. Barnes, M.J.K. (2018). 15 pages
2. Ministère des Mines et Ressources Stratégiques. Bases de Données Aurifère.2018. inédit
3. Miora Harivony RAKOTONDRABE. , et al (2014). Caractérisation de phlogopite d’Ampandrandava par les methodes fluorescence-X et valorisation du gisement (sud de Madagascar) .19 pages
4. PGRM., (2012). Cartes géologique et métallogéniques de la République de Madagascar à 1/1 000 000. 263 pages
5. UGIR - Unité de Gestion des Informations Régionales (2015) – Monographie de la Region Amoron’i Mania .116 pages

